

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-019710

(43)Date of publication of application : 21.01.2000

(51)Int.Cl.

G03F 1/08

H01L 21/027

(21)Application number : 10-191287

(71)Applicant : HITACHI LTD

HITACHI TOKYO ELECTRONICS CO LTD

(22)Date of filing : 07.07.1998

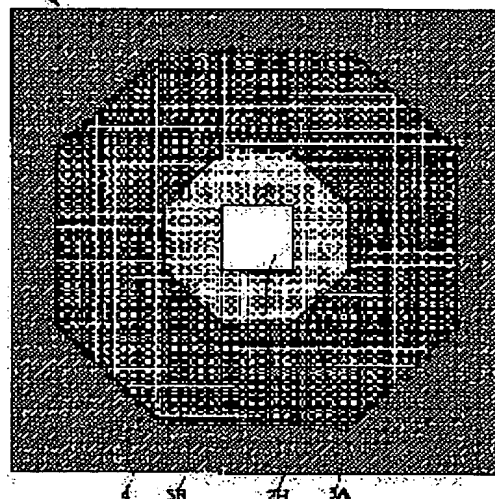
(72)Inventor : MORIUCHI NOBORU  
YAMAGUCHI SHUHEI  
HOTTA SHOJI  
SHIRAI SEIICHIRO  
YOKOYAMA GOICHI  
TSUNENO KATSUMI

## (54) MANUFACTURE OF SEMICONDUCTOR INTEGRATED CIRCUIT DEVICE

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve resolution of a pattern, without switching apertures, in the case of pattern exposure using oblique lighting.

SOLUTION: In a mask 1 for transferring a hole pattern to a photoresist film spread on a semiconductor wafer by exposure using oblique lighting, a pseudo repetition area is formed by providing an anti-phase area 3A, an in-phase half-tone area 3B, and a light-shading area 4 around a real pattern 2H provided for transferring the hole pattern.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision]

BEST AVAILABLE COPY

of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-19710

(P2000-19710A)

(43) 公開日 平成12年1月21日 (2000.1.21)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テマコード (参考)

G 0 3 F 1/08

G 0 3 F 1/08

A 2 H 0 9 5

H 0 1 L 21/027

H 0 1 L 21/30

5 0 2 P 5 F 0 4 6

5 1 4 C

5 1 5 F

5 2 8

審査請求 未請求 請求項の数20 O L (全 40 頁)

(21) 出願番号

特願平10-191287

(22) 出願日

平成10年7月7日 (1998.7.7)

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(71) 出願人 000233505

日立東京エレクトロニクス株式会社

東京都青梅市藤橋3丁目3番地の2

(72) 発明者 森内 昇

東京都青梅市新町六丁目16番地の3 株式

会社日立製作所デバイス開発センタ内

(74) 代理人 100080001

弁理士 筒井 大和

最終頁に続く

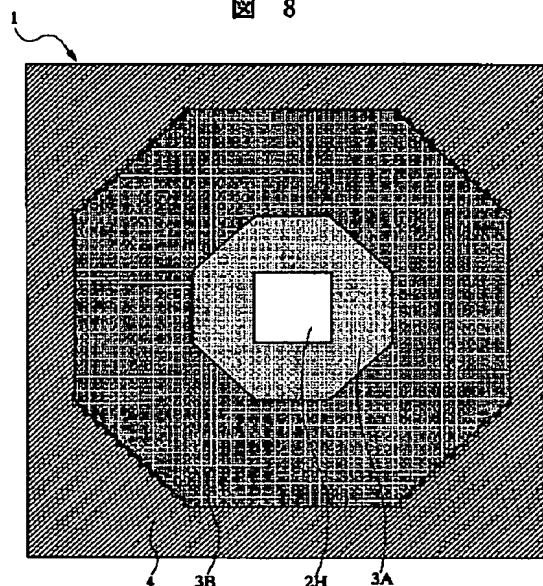
(54) 【発明の名称】 半導体集積回路装置の製造方法

(57) 【要約】

【課題】 斜方照明を用いたパターン露光において、アパーチャを切り換えることなく、パターンの解像度を向上させる。

【解決手段】 半導体ウエハ上に塗布されたフォトリソ膜に斜方照明を用いた露光処理によってホールパターンを転写するマスク1において、そのホールパターンを転写するための実パターン2Hの周囲に、逆相ハーフトーン領域3A、同相ハーフトーン領域3Bおよび遮光領域4を設けることで擬似的な繰り返し領域を形成するようにした。

図 8



1: 光学マスク  
2H: 実パターン  
3A: 逆相ハーフトーン領域

3B: 同相ハーフトーン領域  
4: 遮光領域

## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 超解像マスク上のホールパターンに対応する集積回路パターンを紫外線露光光を用いて非小 $\sigma$ 照明して、その透過光を縮小投影光学系を通して半導体集積回路ウエハ上のフォトレジスト膜上に縮小投影することにより、上記ホールパターンを上記半導体集積回路ウエハ上に転写する半導体集積回路装置の製造方法において、

上記超解像マスクは以下の構成よりなる：

- (a) 第 1 及び第 2 の主面を有する透明基板；
- (b) 上記透明基板の上記第 1 の主面上に設けられた第 1 の実透過領域；
- (c) 上記透明基板の上記第 1 の主面上の上記第 1 の実透過領域の周辺に設けられた上記第 1 の実透過領域に対して同位相の同位相ハーフトーン領域。

【請求項 2】 上記請求項 1 において、上記フォトレジスト膜はポジ型であることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 3】 上記請求項 2 において、上記非小 $\sigma$ 照明は斜方照明であることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 4】 上記請求項 3 において、上記斜方照明は輪帯照明であることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 5】 上記請求項 4 において、上記同位相ハーフトーン領域の透過率は 10%未満であることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 6】 超解像マスク上の集積回路パターンを紫外線露光光を用いて非小 $\sigma$ 照明して、その透過光を縮小投影光学系を通して半導体集積回路ウエハ上のフォトレジスト膜上に縮小投影することにより、上記集積回路パターンを上記半導体集積回路ウエハ上に転写する半導体集積回路装置の製造方法において、

上記超解像マスクは以下の構成よりなる：

- (a) 第 1 及び第 2 の主面を有する透明基板；
- (b) 上記透明基板の上記第 1 の主面上に設けられた第 1 の実透過領域；
- (c) 上記透明基板の上記第 1 の主面上の上記第 1 の実透過領域に関する 1 次近接領域に設けられた第 1 の遮光領域；
- (d) 上記透明基板の上記第 1 の主面上の上記第 1 の遮光領域の周辺に設けられた上記第 1 の実透過領域に対して同位相の同位相ハーフトーン領域。

【請求項 7】 上記請求項 6 において、上記集積回路パターンは上記ウエハ上のホールパターンであることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 8】 上記請求項 7 において、上記非小 $\sigma$ 照明は斜方照明であることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 9】 超解像マスク上の集積回路パターンを紫

外線露光光を用いて照明して、その透過光を縮小投影光学系を通して半導体集積回路ウエハ上のフォトレジスト膜上に縮小投影することにより、上記集積回路パターンを上記半導体集積回路ウエハ上に転写する半導体集積回路装置の製造方法において、

上記超解像マスクは以下の構成よりなる：

- (a) 第 1 及び第 2 の主面を有する透明基板；
- (b) 上記透明基板の上記第 1 の主面上に設けられた第 1 の実透過領域；
- (c) 上記透明基板の上記第 1 の主面上の上記第 1 の実透過領域に関する 1 次近接領域に設けられた上記第 1 の実透過領域に対して逆位相の逆位相ハーフトーン領域；
- (d) 上記透明基板の上記第 1 の主面上の上記逆位相ハーフトーン領域の周辺に設けられた上記第 1 の実透過領域に対して同位相の同位相ハーフトーン領域。

【請求項 10】 上記請求項 9 において、上記照明は非小 $\sigma$ 照明であることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 11】 上記請求項 10 において、上記集積回路パターンは上記ウエハ上のホールパターンであることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 12】 超解像マスク上の集積回路パターンを紫外線露光光を用いて照明して、その透過光を縮小投影光学系を通して半導体集積回路ウエハ上のフォトレジスト膜上に縮小投影することにより、上記集積回路パターンを上記半導体集積回路ウエハ上に転写する半導体集積回路装置の製造方法において、

上記超解像マスクは以下の構成よりなる：

- (a) 第 1 及び第 2 の主面を有する透明基板；
- (b) 上記透明基板の上記第 1 の主面上に設けられた第 1 の実透過領域；
- (c) 上記透明基板の上記第 1 の主面上の上記第 1 の実透過領域に関する 1 次近接領域に設けられた上記第 1 の実透過領域に対して逆位相の逆位相ハーフトーン領域；
- (d) 上記透明基板の上記第 1 の主面上の上記逆位相ハーフトーン領域の周辺の上記第 1 の実透過領域に関する 2 次近接領域に設けられた上記第 1 の実透過領域に対して同位相の同位相ハーフトーン領域；
- (e) 上記透明基板の上記第 1 の主面上の上記同位相ハーフトーン領域の周辺に設けられた遮光領域。

【請求項 13】 上記請求項 12 において、上記照明は非小 $\sigma$ 照明であることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 14】 上記請求項 13 において、上記集積回路パターンは上記ウエハ上のホールパターンであることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項 15】 超解像マスク上の集積回路パターンを紫外線露光光を用いて非小 $\sigma$ 照明して、その透過光を縮小投影光学系を通して半導体集積回路ウエハ上のフォト

レジスト膜上に縮小投影することにより、上記集積回路パターンを上記半導体集積回路ウエハ上に転写する半導体集積回路装置の製造方法において、

上記超解像マスクは以下の構成よりなる：

- (a) 第1及び第2の主面を有する透明基板；
- (b) 上記透明基板の上記第1の主面上に設けられた第1の実透過領域；
- (c) 上記透明基板の上記第1の主面上の上記第1の実透過領域に関する1次近接領域に設けられた第1の遮光領域；
- (d) 上記透明基板の上記第1の主面上の上記第1の遮光領域の周辺の上記第1の実透過領域に関する2次近接領域に設けられた上記第1の実透過領域に対して同位相の同位相ハーフトーン領域；
- (e) 上記透明基板の上記第1の主面上の上記同位相ハーフトーン領域の周辺に設けられた第2の遮光領域。

【請求項16】 上記請求項15において、上記非小 $\sigma$ 照明は斜方照明であることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項17】 上記請求項16において、上記集積回路パターンは上記ウエハ上のホールパターンであることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項18】 超解像マスク上の集積回路パターンを紫外線露光を用いて非小 $\sigma$ 照明して、その透過光を縮小投影光学系を通して半導体集積回路ウエハ上のフォトレジスト膜上に縮小投影することにより、上記集積回路パターンを上記半導体集積回路ウエハ上に転写する半導体集積回路装置の製造方法において、

- 上記超解像マスクは以下の構成よりなる：
- (a) 第1及び第2の主面を有する透明基板；
  - (b) 上記透明基板の上記第1の主面上に設けられた第1の実透過領域；
  - (c) 上記透明基板の上記第1の主面上の上記第1の実透過領域に関する外縁領域に設けられた遮光領域；
  - (d) 上記透明基板の上記第1の主面上の上記第1の実透過領域と上記遮光領域の間に設けられた上記第1の実透過領域に対して同位相の同位相ハーフトーン領域。

【請求項19】 上記請求項18において、上記非小 $\sigma$ 照明は斜方照明であることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【請求項20】 上記請求項19において、上記集積回路パターンは上記ウエハ上のホールパターンであることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、半導体集積回路装置の製造技術に関し、特に、微細パターンを転写するための露光技術に適用して有効な技術に関するものである。

【0002】

10

20

30

40

50

【従来の技術】 半導体集積回路装置を構成する素子や配線等のパターンの微細化に伴い、そのパターンを転写する露光技術においては、露光波長の短波長化や投影光学系の高NA（開口数）化を図ることによりパターンの高解像化が実現されてきた。しかし、これらだけでは、パターンの微細化速度に追いつくことができず、近年、解像度を向上させるための種々の技術が開発され適用されるに及んでいる。このような露光技術については、例えば株式会社プレスジャーナル、平成9年5月20日発行「月刊セミコンダクタワールド」1997年、6月号P124～P143（第1文献）、特開平6-242594号公報（第2文献）または国際公開番号WO97/46914（第3文献）に記載がある。

【0003】 この第1文献には、弱い解像度技術として、ハーフトーン型マスク技術および変形照明技術が開示され、強い解像度技術として、レベソソソ型マスク技術および瞳フィルタ技術が開示されている。現状では、この第1文献で紹介されている解像度向上技術を対象パターンに応じて駆使し、実用解像度の向上と焦点深度の確保を図っている。

【0004】 また、上記第2文献には、変形照明を用いる露光技術において、露光マスクにおける孤立した主パターンの近傍に、その主パターンと同じ透過特性を有する補助パターンを設ける技術が開示されている。

【0005】 さらに、上記第3文献には、露光用のホトマスクに、半導体ウエハに転写されるラインパターンに対応して形成され光透過率が最も小さい最小透過率部と、その外側に形成され光透過率が最も大きい最大透過率部と、それらの透過率部以外の余領域に形成されそれらの透過率部の光透過率の中間の透過率にされた中間透過率部を設ける構造が開示されている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】 ところが、上記文献に記載された技術においては、以下の課題があることを本発明者は見出した。

【0007】 すなわち、第1文献には、繰り返しパターン向けの強い解像度向上技術としてレベソソソ型マスクが紹介されている。この場合の照明は、一般的に小 $\sigma$

（ $\sigma$ はナニシャルコヒーレンス係数）照明が用いられる。これと対として用いられる孤立パターン向け解像度向上技術としては、上記第1文献にも弱い解像度向上技術として紹介されている逆相ハーフトーン型マスクを用いる露光技術がある。この場合にも、小 $\sigma$ 照明により大きな効果が得られる。

【0008】 しかし、繰り返しパターン向けのレベソソソ型マスクを用いる場合には、マスク上で隣合う開口部の各々を透過した各々の光の間に180度の位相差を生じさせる必要があり、パターン配置に制約が生じるという大きな問題点がある。また、上記第1文献において種々のマスク構造が紹介されているように、位相差に対す

る制約が厳しく、マスクの安定供給にも、現状では不安が残されている。これら問題点により、繰り返しパターン向けのレベソソ型マスクは、特定用途には適用されているものの、汎用性のない技術となっている。従って、上記した解像度を向上させるための技術の場合、一種の照明系だけでは、繰り返しパターンおよび孤立パターンの双方の解像度を向上させることができないので、上記第1文献にも述べられているように、その効果を発揮させるべく、照明系のアパーチャを露光対象パターンまたは対象マスク種に応じて切り換えて焦点深度の向上を図り、パターンの解像度を向上させることが行われている。例えば第1文献には弱い解像度の向上技術として繰り返しパターンおよび孤立パターンの双方の転写に対し、逆相ハーフトーン型マスク技術および変形照明技術が用いられているが、その向上効果は小さく、照明系アパーチャを切り換えて効力を発揮させざるを得ない。しかしながら、大きく異なる照明系アパーチャを用いて露光したパターンを重ね合せた場合には、重ね合せ精度が劣化し、上記第1文献には最大数十nmまたは最大30nmの精度劣化が生じると記載されている。この劣化量は許容可能な量ではなく、現実には半導体集積回路装置の製造歩留を低下させている。

【0009】また、第1文献には、逆相ハーフトーン型マスクを用いた場合に生じる不要パターンの問題が述べられている。通常マスクであってもコンタクトホールパターン等を露光した場合には、フォトリソ膜の主面において、マスク上の主パターンに対応する位置に光強度のピークが形成される（以下、プライマリピークという）が、それ以外に、そのプライマリピークから一定距離離れた位置に光の回折現象に起因してセカンダリピークが形成される。このセカンダリピークは、光強度は低いものの、露光光として小 $\sigma$ （ $\sigma$ はパーシャルコヒーレンス係数）照明ないしは通常照明を用いた場合、プライマリピークに対して光の位相が逆である。このため、逆相ハーフトーン型マスクを用いてホールパターンを露光する場合には、逆相ハーフトーン部の透過光とセカンダリピークとが強め合う干渉を起こす結果、不要光強度はレジスト感度を上回り不要パターンがレジストパターンとして形成される問題がある。この問題は、2個以上の連続したコンタクトホールパターンが配置される場合に、各々のセカンダリピークが一個所で重なるため顕著となる。

【0010】また、第1文献には、繰り返しパターンの露光において変形照明を用いると高解像度が得られることが記載されているが、本発明者の検討結果によれば、繰り返しパターンのうち、孤立パターンと等価となっている部分や最外側のパターンにおいては、変形照明による解像度の向上効果が小さいことが半明している。

【0011】また、上記第2文献においては、変形照明を用いた露光技術において、繰り返しパターンおよび孤

立パターンの双方の解像度を向上させる方法が開示されている。この技術が現実的に適用できれば、上記パターンの重ね合せ精度劣化の問題も解決可能である。しかし、本発明者の検討結果によれば、この第2文献の技術においては、マスク上に補助パターンを配置するための図形データ処理が主パターンの微細化や高密度化に伴って煩雑になる課題やその補助パターンは主パターンと同じ透過特性を有することからフォトリソ膜に転写されないように極めて微細に形成することが要求される上、今後の主力露光装置の縮小率の変更も考慮すれば、マスク製造上の制約も生じざるを得ない状況にあり、その補助パターンを有するマスクの製造プロセスが難しいという課題があることが半明している。

【0012】さらに、上記第3文献の技術においては、上述のようなマスク構造とすることで、半導体ウエハ上のフォトリソ膜に転写されるラインパターンのエッジ部分においてシャープな光強度分布が得られ、パターンの解像度を向上させることが可能であるが、本願発明の露光技術とは構成が異なるものである。

【0013】そこで、本発明の目的は、斜方照明を用いたパターン露光において、アパーチャを切り換えることなく、パターンの解像度を向上させることのできる技術を提供することにある。

【0014】また、本発明の他の目的は、斜方照明を用いたパターン露光において、孤立パターンにおける不要光強度を低減することのできる技術を提供することにある。

【0015】また、本発明の他の目的は、繰り返しパターンのうち、部分的に孤立パターンと等価となる部分または最外側のパターンの解像度を向上させることのできる技術を提供することにある。

【0016】また、本発明の他の目的は、マスクの図形データ処理を容易にすることのできる技術を提供することにある。

【0017】さらに、本発明の他の目的は、マスクに微細な補助パターンを形成する必要の無い技術を提供することにある。

【0018】さらに、本発明の他の目的は、斜方照明を用いたパターン露光において、汎用性のある解像度向上技術を提供することにある。

【0019】本発明の前記ならびにその他の目的と新規な特徴は、本明細書の記述および添付図面から明らかになるであろう。

【0020】

【課題を解決するための手段】本願において開示される発明のうち、代表的なものの概要を簡単に説明すれば、次のとおりである。

【0021】すなわち、本発明は、斜方照明を用いた露光光を露光マスクを介して半導体集積回路ウエハ上のフォトリソ膜に照射することで、そのフォトリソ

10

20

30

40

50

膜に孤立パターンまたは孤立パターン等価部を露光する半導体集積回路装置の製造方法において、上記孤立パターンまたは孤立パターン等価部を転写するための第1の実透過領域の周囲に擬似的な繰り返し領域を設けた露光マスクを用いる半導体集積回路装置の製造方法である。

【0022】上記以外の発明の概要を項に分けて簡単に説明すると以下の通りである。

【0023】1. 超解像マスク上のホールパターンに対応する集積回路パターンを紫外線露光光を用いて非小 $\sigma$ 照明して、その透過光を縮小投影光学系を通して半導体集積回路ウエハ上のフォトレジスト膜上に縮小投影することにより、上記ホールパターンを上記半導体集積回路ウエハ上に転写する半導体集積回路装置の製造方法において、上記超解像マスクは以下の構成よりなる：

- (a) 第1及び第2の主面を有する透明基板；
- (b) 上記透明基板の上記第1の主面上に設けられた第1の実透過領域；
- (c) 上記透明基板の上記第1の主面上の上記第1の実透過領域の周辺に設けられた上記第1の実透過領域に対して同位相の同位相ハーフトーン領域。

【0024】2. 上記第1項において、上記フォトレジスト膜はポジ型であることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【0025】3. 上記第2項において、上記非小 $\sigma$ 照明は斜方照明であることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【0026】4. 上記第3項において、上記斜方照明は輪帯照明であることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【0027】5. 上記第4項において、上記同位相ハーフトーン領域の透過率は10%未満であることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【0028】6. 超解像マスク上の集積回路パターンを紫外線露光光を用いて非小 $\sigma$ 照明して、その透過光を縮小投影光学系を通して半導体集積回路ウエハ上のフォトレジスト膜上に縮小投影することにより、上記集積回路パターンを上記半導体集積回路ウエハ上に転写する半導体集積回路装置の製造方法において、上記超解像マスクは以下の構成よりなる：

- (a) 第1及び第2の主面を有する透明基板；
- (b) 上記透明基板の上記第1の主面上に設けられた第1の実透過領域；
- (c) 上記透明基板の上記第1の主面上の上記第1の実透過領域に関する1次近接領域に設けられた第1の遮光領域；
- (d) 上記透明基板の上記第1の主面上の上記第1の遮光領域の周辺に設けられた上記第1の実透過領域に対して同位相の同位相ハーフトーン領域。

【0029】7. 上記第6項において、上記集積回路パターンは上記半導体集積回路ウエハ上のホールパターン

であることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【0030】8. 上記第7項において、上記非小 $\sigma$ 照明は斜方照明であることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【0031】9. 超解像マスク上の集積回路パターンを紫外線露光光を用いて照明して、その透過光を縮小投影光学系を通して半導体集積回路ウエハ上のフォトレジスト膜上に縮小投影することにより、上記集積回路パターンを上記半導体集積回路ウエハ上に転写する半導体集積回路装置の製造方法において、上記超解像マスクは以下の構成よりなる：

- (a) 第1及び第2の主面を有する透明基板；
- (b) 上記透明基板の上記第1の主面上に設けられた第1の実透過領域；
- (c) 上記透明基板の上記第1の主面上の上記第1の実透過領域に関する1次近接領域に設けられた上記第1の実透過領域に対して逆位相の逆位相ハーフトーン領域；
- (d) 上記透明基板の上記第1の主面上の上記逆位相ハーフトーン領域の周辺に設けられた上記第1の実透過領域に対して同位相の同位相ハーフトーン領域。

【0032】10. 上記第9項において、上記照明は非小 $\sigma$ 照明であることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【0033】11. 上記第10項において、上記集積回路パターンは上記半導体集積回路ウエハ上のホールパターンであることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【0034】12. 超解像マスク上の集積回路パターンを紫外線露光光を用いて照明して、その透過光を縮小投影光学系を通して半導体集積回路ウエハ上のフォトレジスト膜上に縮小投影することにより、上記集積回路パターンを上記半導体集積回路ウエハ上に転写する半導体集積回路装置の製造方法において、上記超解像マスクは以下の構成よりなる：

- (a) 第1及び第2の主面を有する透明基板；
- (b) 上記透明基板の上記第1の主面上に設けられた第1の実透過領域；
- (c) 上記透明基板の上記第1の主面上の上記第1の実透過領域に関する1次近接領域に設けられた上記第1の実透過領域に対して逆位相の逆位相ハーフトーン領域；
- (d) 上記透明基板の上記第1の主面上の上記逆位相ハーフトーン領域の周辺の上記第1の実透過領域に関する2次近接領域に設けられた上記第1の実透過領域に対して同位相の同位相ハーフトーン領域；
- (e) 上記透明基板の上記第1の主面上の上記同位相ハーフトーン領域の周辺に設けられた遮光領域。

【0035】13. 上記第12項において、上記照明は非小 $\sigma$ 照明であることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

10

20

30

40

50

【0036】14. 上記第13項において、上記集積回路パターンは上記半導体集積回路ウエハ上のホールパターンであることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【0037】15. 超解像マスク上の集積回路パターンを紫外線露光を用いて非小 $\sigma$ 照明して、その透過光を縮小投影光学系を通して半導体集積回路ウエハ上のフォトリソ膜上に縮小投影することにより、上記集積回路パターンを上記半導体集積回路ウエハ上に転写する半導体集積回路装置の製造方法において、上記超解像マスクは以下の構成よりなる：

- (a) 第1及び第2の主面を有する透明基板；
- (b) 上記透明基板の上記第1の主面上に設けられた第1の実透過領域；
- (c) 上記透明基板の上記第1の主面上の上記第1の実透過領域に関する1次近接領域に設けられた第1の遮光領域；
- (d) 上記透明基板の上記第1の主面上の上記第1の遮光領域の周辺の上記第1の実透過領域に関する2次近接領域に設けられた上記第1の実透過領域に対して同位相の同位相ハーフトーン領域；
- (e) 上記透明基板の上記第1の主面上の上記同位相ハーフトーン領域の周辺に設けられた第2の遮光領域。

【0038】16. 上記第15項において、上記非小 $\sigma$ 照明は斜方照明であることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【0039】17. 上記第16項において、上記集積回路パターンは上記半導体集積回路ウエハ上のホールパターンであることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【0040】18. 超解像マスク上の集積回路パターンを紫外線露光を用いて非小 $\sigma$ 照明して、その透過光を縮小投影光学系を通して半導体集積回路ウエハ上のフォトリソ膜上に縮小投影することにより、上記集積回路パターンを上記半導体集積回路ウエハ上に転写する半導体集積回路装置の製造方法において、上記超解像マスクは以下の構成よりなる：

- (a) 第1及び第2の主面を有する透明基板；
- (b) 上記透明基板の上記第1の主面上に設けられた第1の実透過領域；
- (c) 上記透明基板の上記第1の主面上の上記第1の実透過領域に関する外縁領域に設けられた遮光領域；
- (d) 上記透明基板の上記第1の主面上の上記第1の実透過領域と上記遮光領域の間に設けられた上記第1の実透過領域に対して同位相の同位相ハーフトーン領域。

【0041】19. 上記第18項において、上記非小 $\sigma$ 照明は斜方照明であることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【0042】20. 上記第19項において、上記集積回路パターンは上記半導体集積回路ウエハ上のホールパタ

ーンであることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【0043】21. 上記第1項から第20項のいずれか一つに記載された光学マスク。

【0044】22. 上記第1項から第20項のいずれか一つに記載された光学マスクの製造方法。

【0045】更にその他の発明の概要を項に分けて記載すれば以下のごとくである。

【0046】23. 非小 $\sigma$ 照明を用いた露光をマスクを介して半導体集積回路ウエハ上のフォトリソ膜に照射することで、そのフォトリソ膜に孤立パターンを転写する半導体集積回路装置の製造方法において、上記マスクは以下を有することを特等とする：

- (a) 第1及び第2の主面を有する透明基板；
- (b) 上記孤立パターンを転写するための光透過領域であって、上記透明基板の上記第1の主面上において互いに近接するように設けられた複数の第1の実透過領域；
- (c) 上記透明基板の上記第1の主面上の上記第1の実透過領域に関する1次近接領域に設けられ、隣接する同士で互いに一体的に形成された第1の遮光領域；
- (d) 上記透明基板の上記第1の主面上において上記第1の遮光領域の周辺に設けられ、上記第1の実透過領域を透過した光の位相に対して透過光の位相が同位相であり、かつ、上記第1の実透過領域の光透過率よりも光透過率が低い第1の同相領域；
- (e) 上記透明基板の上記第1の主面上において上記第1の同相領域の外周に設けられた第2の遮光領域。

【0047】24. 上記第23項において、上記孤立パターンがホールパターンであることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【0048】25. 上記第23項において、マスクの第1の実透過領域の大きさを、上記フォトリソ膜に転写されるべき孤立パターンの大きさよりも小さくしたことを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【0049】26. 上記第23項において、非小 $\sigma$ 照明が斜方照明であることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【0050】27. 非小 $\sigma$ 照明を用いた露光をマスクを介して半導体集積回路ウエハ上のフォトリソ膜に照射することで、そのフォトリソ膜に孤立パターンを転写する半導体集積回路装置の製造方法において、上記マスクは以下を有することを特等とする：

- (a) 第1及び第2の主面を有する透明基板；
- (b) 上記孤立パターンを転写するための光透過領域であって、上記透明基板の上記第1の主面上において互いに近接するように設けられた複数の第1の実透過領域；
- (c) 上記透明基板の上記第1の主面上における上記第1の実透過領域に関する1次近接領域に、隣接する同士で互いに一体的に形成され、上記第1の実透過領域を透過した光の位相に対して透過光の位相が逆位相であり、か

10

20

30

40

50



つ、上記第1の実透過領域の光透過率よりも光透過率が低い第1の逆相領域；

(d) 上記透明基板の上記第1の主面上において上記第1の逆相領域の周辺に設けられ、上記第1の実透過領域を透過した光の位相に対して透過光の位相が同位相であり、かつ、上記第1の実透過領域を透過した光よりも光透過率が低い第1の同相領域；

(e) 上記透明基板の上記第1の主面上において上記第1の同相領域の外周に設けられた第2の遮光領域。

【0051】28. 上記第27項において、上記孤立パターンがホールパターンであることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【0052】29. 上記第27項において、マスクの第1の実透過領域の大きさを、上記フォトリソ膜に転写されるべき孤立パターンの大きさよりも小さくしたことを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【0053】30. 上記第27項において、非小 $\sigma$ 照明が斜方照明であることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【0054】31. 非小 $\sigma$ 照明を用いた露光光をマスクを介して半導体集積回路ウエハ上のフォトリソ膜に照射することで、そのフォトリソ膜に孤立パターン部または孤立パターン等価部を有する繰返しパターンを転写する半導体集積回路装置の製造方法において、上記マスクは以下を有することを特等とする：

(a) 第1及び第2の主面を有する透明基板；  
(b) 上記繰返しパターンを転写するための遮光領域であって、上記透明基板の上記第1の主面上に設けられた第1の実遮光領域；

(c) 上記透明基板の上記第1の主面上における上記第1の実遮光領域に関する1次近接領域に形成された第1の光透過領域；

(d) 上記透明基板の上記第1の主面上において上記第1の光透過領域の周辺に設けられ、上記第1の光透過領域を透過した光の位相に対して透過光の位相が同位相であり、かつ、上記第1の光透過領域を透過した光よりも光透過率が低い第1の同相領域；

(e) 上記透明基板の上記第1の主面上において上記第1の同相領域の外周に設けられた第2の光透過領域。

【0055】32. 上記第28項において、上記繰返しパターンがラインパターンであることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【0056】33. 上記第28項において、非小 $\sigma$ 照明が斜方照明であることを特徴とする半導体集積回路装置の製造方法。

【0057】34. 斜方照明方式の露光光源から放射された露光光を第1のマスクを介して半導体集積回路ウエハ上のフォトリソ膜に照射することで、そのフォトリソ膜に繰返しパターンを有する第1の集積回路パターンを露光する第1の露光工程と、斜方照明方式の

露光光源から放射された露光光を第2のマスクを介して半導体集積回路ウエハ上のフォトリソ膜に照射することで、そのフォトリソ膜に孤立パターンで構成される第2の集積回路パターンを露光する第2の露光工程とを有する半導体集積回路装置の製造方法において；上記第1の露光工程と上記第2の露光工程とにおいては照明光学系（アパーチャ）を切り換えずに露光処理を行い、上記第1のマスクは、以下の構成を有する；

(a) 第1及び第2の主面を有する第1の透明基板；

(b) 上記第1の集積回路パターンを転写するための遮光領域であって、上記第1の透明基板の上記第1の主面上に設けられた第1の実遮光領域；

(c) 上記第1の透明基板の上記第1の主面上に設けられ、上記第1の実遮光領域の外周に設けられた第1の光透過領域；上記第2のマスクは、以下の構成を有する；

(d) 第1及び第2の主面を有する第2の透明基板；

(e) 上記第2の集積回路パターンを転写するための光透過領域であって、上記第2の透明基板の上記第1の主面上に設けられた第1の実透過領域；

(f) 上記第2の透明基板の主面上において上記第1の実透過領域の周囲に設けた擬似的な繰返し領域。

【0058】35. 上記第34項において、上記第2のマスクの上記擬似的な繰返し領域は、以下の構成を有する；

(a). 上記第2の透明基板の上記第1の主面上において上記第1の実透過領域に関する1次近接領域に設けられた第1の遮光領域；

(b). 上記第2の透明基板の上記第1の主面上において上記第1の遮光領域の周辺に設けられ、上記第1の実透過領域を透過した光の位相に対して透過光の位相が同位相で、かつ、上記第1の実透過領域の光透過率よりも光透過率が低い第1の同相領域。

【0059】36. 上記第34項において、上記第2のマスクの上記擬似的な繰返し領域は、以下の構成を有する；

(a). 上記第2の透明基板の第1の主面上において上記第1の実透過領域に関する1次近接領域に設けられた第1の遮光領域；

(b). 上記第2の透明基板の上記第1の主面上において上記第1の遮光領域の周辺に設けられ、上記第1の実透過領域を透過した光の位相に対して透過光の位相が同位相で、かつ、上記第1の実透過領域の光透過率よりも光透過率が低い第1の同相領域；

(c). 上記第2の透明基板の上記第1の主面上において上記第1の同相領域の外周に設けられた第2の遮光領域。

【0060】37. 上記第34項において、上記第2のマスクの上記擬似的な繰返し領域は、以下の構成を有する；

(a). 上記第2の透明基板の上記第1の主面上において上記第1の実透過領域に関する1次近接領域に設けられ、

上記第1の実透過領域を透過した光の位相に対して透過光が逆相で、かつ、上記第1の実透過領域の光透過率よりも光透過率が低い第1の逆相領域；

(b). 上記第2の透明基板の上記第1の主面上において上記第1の逆相領域の周辺に設けられ、上記第1の実透過領域を透過した光の位相に対して透過光の位相が同位相で、かつ、上記第1の実透過領域の光透過率よりも光透過率が低い第1の同相領域。

【0061】38. 上記第34項において、上記第2のマスクの上記擬似的な繰り返し領域は、以下の構成を有する；

(a). 上記第2の透明基板の上記第1の主面上において上記第1の実透過領域に関する1次近接領域に設けられ、上記第1の実透過領域を透過した光の位相に対して透過光が逆相で、かつ、上記第1の実透過領域の光透過率よりも光透過率が低い第1の逆相領域；

(b). 上記第2の透明基板の上記第1の主面上において上記第1の逆相領域の周辺に設けられ、上記第1の実透過領域を透過した光の位相に対して透過光の位相が同位相で、かつ、上記第1の実透過領域の光透過率よりも光透過率が低い第1の同相領域；

(c). 上記第2の透明基板の上記第1の主面上において上記第1の同相領域の外周に設けられた第1の遮光領域。

【0062】39. 斜方照明方式の露光光源から放射された露光光を第1のマスクを介して半導体集積回路ウエハ上のフォトリソ膜に照射することで、そのフォトリソ膜に繰り返しパターンを有する第1の集積回路パターンを露光する第1の露光工程と、斜方照明方式の露光光源から放射された露光光を第2のマスクを介して半導体集積回路ウエハ上のフォトリソ膜に照射することで、そのフォトリソ膜に孤立パターンで構成される第2の集積回路パターンを露光する第2の露光工程とを有する半導体集積回路装置の製造方法において、上記第1の露光工程と上記第2の露光工程とにおいては照明光学系（アパーチャ）を切り換えずに露光処理を行い、上記第1のマスクは、以下の構成を有する；

(a) 第1及び第2の主面を有する第1の透明基板；

(b) 上記第1の集積回路パターンを転写するための遮光領域であって、上記第1の透明基板の上記第1の主面上に設けられた第1の実遮光領域；

(c) 上記第1の透明基板の上記第1の主面上に設けられ、上記第1の実遮光領域の外周に設けられた第1の光透過領域；

(d) 上記第1の透明基板の第1の主面に設けられ、上記第1の光透過領域の外周に設けられ、上記第1の光透過領域を透過した光の位相に対して透過光の位相が同相であり、かつ、上記第1の光透過領域の光透過率よりも光透過率が低い第1の同相領域；上記第2のマスクは、以下の構成を有する；

(e) 第1及び第2の主面を有する第2の透明基板；

(f) 上記第2の集積回路パターンを転写するための光透過領域であって、上記第2の透明基板の上記第1の主面上に設けられた第1の実透過領域；

(g) 上記第2の透明基板の主面上において上記第1の実透過領域の周辺に設けた擬似的な繰り返し領域。

【0063】40. 上記第39項において、上記第2のマスクの上記擬似的な繰り返し領域は、以下の構成を有する；

(a). 上記第2の透明基板の上記第1の主面上において上記第1の実透過領域に関する1次近接領域に設けられた第1の遮光領域；

(b). 上記第2の透明基板の上記第1の主面上において上記第1の遮光領域の周辺に設けられ、上記第1の実透過領域を透過した光の位相に対して透過光の位相が同位相で、かつ、上記第1の実透過領域の光透過率よりも光透過率が低い第2の同相領域。

【0064】41. 上記第39項において、上記第2のマスクの上記擬似的な繰り返し領域は、以下の構成を有する；

(a). 上記第2の透明基板の第1の主面上において上記第1の実透過領域に関する1次近接領域に設けられた第1の遮光領域；

(b). 上記第2の透明基板の上記第1の主面上において上記第1の遮光領域の周辺に設けられ、上記第1の実透過領域を透過した光の位相に対して透過光の位相が同位相で、かつ、上記第1の実透過領域の光透過率よりも光透過率が低い第1の同相領域；

(c). 上記第2の透明基板の上記第1の主面上において上記第1の同相領域の外周に設けられた第2の遮光領域。

【0065】42. 上記第39項において、上記第2のマスクの上記擬似的な繰り返し領域は、以下の構成を有する；

(a). 上記第2の透明基板の上記第1の主面上において上記第1の実透過領域に関する1次近接領域に設けられ、上記第1の実透過領域を透過した光の位相に対して透過光の位相が逆相で、かつ、上記第1の実透過領域の光透過率よりも光透過率が低い第1の逆相領域；

(b). 上記第2の透明基板の上記第1の主面上において上記第1の逆相領域の周辺に設けられ、上記第1の実透過領域を透過した光の位相に対して透過光の位相が同位相で、かつ、上記第1の実透過領域の光透過率よりも光透過率が低い第2の同相領域。

【0066】43. 上記第39項において、上記第2のマスクの上記擬似的な繰り返し領域は、以下の構成を有する；

(a). 上記第2の透明基板の上記第1の主面上において上記第1の実透過領域に関する1次近接領域に設けられ、上記第1の実透過領域を透過した光の位相に対して透過光の位相が逆相で、かつ、上記第1の実透過領域の光透過率よりも光透過率が低い第1の逆相領域；

10

20

30

40

50

(b). 上記第2の透明基板の上記第1の主面上において上記第1の逆相領域の周辺に設けられ、上記第1の実透過領域を透過した光の位相に対して透過光の位相が同位相で、かつ、上記第1の実透過領域の光透過率よりも光透過率が低い第2の同相領域；

(c). 上記第2の透明基板の上記第1の主面上において上記第2の同相領域の外周に設けられた第1の遮光領域。

【0067】44. 孤立パターンを有する半導体集積回路パターンの斜方照明を用いた第1の露光工程と、繰返しパターンを有する半導体集積回路パターンの斜方照明を用いた第2の露光工程とで同一分類に属する露光光学系を用いるべく、第1の露光工程で用いる第1のマスクにおいて、上記孤立パターンを転写するための第1の実透過領域の周囲に擬似的な繰返し領域を配置するものである。

【0068】

【発明の実施の形態】図1(a), (b)は本発明の一実施の形態である露光技術である斜法照明の原理を説明するための説明図、図2(a), (b)は本実施の形態で用いた穴径算出方法を説明するためのグラフ図、図3は逆相ハーフトーン領域の効果領域の評価に用いたマスクの要部平面図、図4は逆相ハーフトーン領域の効果領域の評価結果を示すグラフ図、図5はマスクの穴径縮小効果を比較するグラフ図、図6(a), (b)は不要光強度比を比較するためのグラフ図、図7(a), (b)は斜法照明を用いた露光処理に際してハーフトーンマスクを用いた場合の不要光強度比を比較するためのグラフ図、図8は本実施の形態のマスクの要部拡大平面図、図9は図8のマスクを用いた場合の焦点深度向上効果を説明するためのグラフ図、図10～図17は図8のマスクの製造工程における要部拡大断面図、図18～図24は図8のマスクの他の製造工程における要部拡大断面図、図25～図32は図8のマスクの他の製造工程における要部拡大断面図、図33は本発明の他の本実施の形態であるマスクの要部拡大平面図、図34は図33のマスクを用いた場合の焦点深度向上効果を示すグラフ図、図35は図33のマスクを用いた場合の不要光強度を示すグラフ図、図36は本発明の他の実施の形態であるマスクの要部拡大平面図、図37は図36のマスクを用いた場合の焦点深度向上効果を示すグラフ図、図38は図36のマスクを用いた場合の不要光強度を示すグラフ図、図39～図43は図36のマスクの製造工程における要部断面図、図44は本発明の他の実施の形態であるマスクの要部拡大平面図、図45は図44のマスクを用いた場合の焦点深度向上効果を示すグラフ図、図46(a)～(c)は図44のマスクを用いた場合の不要光強度を示すグラフ図、図47は本発明の他の実施の形態であるマスクの要部拡大平面図、図48(a)～

(c)は図44のマスクを用いた場合の焦点深度向上効果を示すグラフ図、図49は本発明の他の実施の形態で

あるマスクの要部拡大平面図、図50(a)～(c)は図49のマスクを用いた場合の焦点深度向上効果を示すグラフ図、図51は本発明の他の実施の形態であるマスクの要部拡大平面図、図52は図44のマスクの図形データ作成に用いるユニットセルの説明図、図53(a)～(c)は図52のユニットセルを構成する各層の説明図、図54は本発明の他の実施の形態であるマスクの要部拡大平面図、図55～図58は図54のマスクの図形データ作成に用いる層の説明図、図59～図62は図47のマスクの図形データの作成方法を説明するための説明図、図63は本実施の形態であるパターン重ね合わせ防止効果の説明図、図64は本実施の形態の露光処理に用いる露光装置の説明図、図65および図66は図64の露光装置における露光光源の説明図、図67は本実施の形態の露光処理に用いる他の露光装置の説明図、図68(a)は本発明者が検討した露光装置の説明図であり、(b)は図67の露光装置の説明図、図69～図71は本発明の他の実施の形態であるマスクの要部拡大平面図、図72～図79は本発明の実施の形態である露光処理を具体的に適用した場合の半導体集積回路装置の製造工程における要部断面図である。

【0069】以下、本発明の実施の形態を図面に基いて詳細に説明する。

【0070】なお、実施の形態を説明するための全図において同一機能を有するものは同一の符号を付し、その繰返しの説明は省略する。また、本明細書中において、領域を指定する場合はマスク作成上および設計上の都合により理論的にそのように分類される領域の境界領域は必要に応じて取捨選択するものとする。

【0071】また、本明細書中において、位相が同一または反転、逆というのは等価的に( $2n\pi$ の差分以外同一である場合を含む)位相差が同一および逆である場合の他、焦点深度や焦点位置に問題のない程度ずれた中間的な位相差を含むものとする。一般に、はずれは数度以内である。また、本実施の形態において記載した構成要素は特に記載した場合を除き、必須のものとは限らないものとする。さらに、各構成要素の数は特に記載した場合を除き表示したものに限定されないものとする。

【0072】また、本明細書中においては、以下の用語を用いる。

【0073】1次近接領域(図4では、例えば $0.25\mu\text{m}$ までの領域)：実開口と逆位相にすると解像の改善(焦点深度改善効果を含む)に一次的に寄与する領域。

【0074】2次近接領域(図4では、例えば $0.25\mu\text{m}$ ～ $0.6\mu\text{m}$ までの領域)：実開口と同位相にすると解像の改善に2次的に寄与する領域。

【0075】外縁領域(図4では、例えば $0.6\mu\text{m}$ 以上)：ほとんど寄与しない領域ではあるが、程度は弱いものの1次近接領域と同様の性質を示す。

【0076】通常照明：非変形照明のことで、光強度分

布が比較的均一な照明を言う。

【0077】変形照明：中央部の照度を下げた照明で斜方照明、輪帯照明、4重極照明、5重極照明等の多重極照明又はそれと等価な瞳フィルタによる超解像技術を含む。

【0078】斜方照明：中央部の照度を下げた照明で輪帯照明、4重極照明、5重極照明等の多重極照明等、斜方向からの照明成分が相対的に多い照明又はそれと等価な瞳フィルタによる超解像技術を含む。

【0079】小 $\sigma$ 照明：パーシャルコヒーレンス係数 $\sigma$ が0.45未満で内部の照度分布が比較的均一な照明。

【0080】非小 $\sigma$ 照明：上記小 $\sigma$ 照明以外の照明で、 $\sigma$ が0.45以上の通常照明及び $\sigma$ の限定のない変形照明。

【0081】通常マスク：マスクのデバイスパターン領域が0%透過の遮光領域とほぼ100%透過の開口領域のみからなる光学マスク。

【0082】位相シフトマスク：位相シフト領域を有する光学マスク。

【0083】超解像技術：位相シフトマスクを用いた露光技術、又は変形照明（斜方照明を含む）及び瞳フィルタによる解像、焦点深度改善技術。

【0084】超解像マスク：位相シフトマスク及び通常マスクと異なるマスク構造を導入して解像、焦点深度を改善する露光技術。

【0085】実パターン：マスク上の開口パターン等の集積回路パターンで実際にウエハ上に転写されるデバイスのパターンに対応しているものである。

【0086】補助パターン：マスク上の開口パターン等の集積回路パターンで実際にウエハ上に転写されるデバイスのパターンに対応していないものである。事実上ウエハ上にその独立したパターンを転写しないものである。

【0087】開口の位相：マスクの二つの開口等を通して光の位相に位相差が生じる場合は、通過した光について位相差を言う代わりに、多くの光学テキストで採用されているように、開口自身の属性としてそれを記述するものとする。

【0088】ハーフトーン領域：それ自体フォトレジストを感光させない程度の低い透過率を持つ領域で同位相と逆位相（反転）の区別がある。一般に透過率は3%から15%程度であるが、遮光領域等を併用することにより20%以上の高透過率ハーフトーン領域も可能である。

【0089】逆相ハーフトーンまたは逆相補助パターン：一般に言うハーフトーン位相シフトまたは位相シフト補助パターン。

【0090】同相ハーフトーンまたは同相補助パターン：マスク上で特に位相シフト部材を設けない、または、露光波長の整数倍に対応する位相差を本体パターン

との間に設けたハーフトーン部分または補助パターン。換言すれば、マスクに垂直に入射し露光波長と等しい波長の平面波を仮定した場合に、マスク上でハーフトーン部分または補助パターン部分を通過する光と実パターン部分を通過する光との間に、位相差が生じることを意図しない、ないしは、露光波長の整数倍の位相差を与えるハーフトーン部分または補助パターン。

【0091】遮光領域：一般にほぼ0%の透過率（典型的には1%以下）を有する領域で、機能的にはハーフトーン領域よりも低い透過率を持つ領域と定義することが出来る。

【0092】紫外線：半導体産業においては水銀ランプのg線（436nm）あたりよりも短波長で、真空紫外域の100nmあたりまでの電磁波（光）を紫外線と呼び、可視光、X線と区別する。

【0093】半導体集積回路ウエハ：半導体集積回路装置をその上に形成するための基板で、一般にはシリコン単結晶からなる。必要に応じて、絶縁体や半導体基板上にエピタキシャル半導体層、その他の半導体層や絶縁層を形成して集積回路を形成するものを含む。本明細書中では単にウエハとも言う。

【0094】光学マスク：一般に言う投影原版・マスクまたはレチクルのことであって、基板上に光を遮蔽するパターンや光の位相を変化させるパターンを形成したものである。基板上とは基板上面、基板上面に近接した内部領域又は上空領域を含む（上面に近接した別の基板上に配置しても良い）。本明細書中では単にマスクとも言う。

【0095】ホールパターン：ウエハ上で露光波長と同程度又はそれ以下の2次元寸法を有するコンタクトホール、スルーホール等の微細穴パターン。一般にマスク上では正方形、又はそれに近い長方形、八角形等の形状であるが、ウエハ上では円形に近くなることが多い。

【0096】また、以下の実施の形態では、特に記載の無い限り、例えば以下の条件とした。露光光は水銀ランプのi線、波長は365nm、NA=0.63、斜方照明は代表として輪帯照明（ $0.42 \leq \sigma \leq 0.7$ ）を用いた。また、比較対象として、小 $\sigma$ 照明を用いる場合は $\sigma=0.4$ 、通常照明を用いる場合は $\sigma=0.7$ とした。ハーフトーン部透過率は、逆相/同相の場合を問わず、ホールパターンの場合は5%、ラインパターンの場合は10%以上とした。ホールパターンの場合は、インフォーカス時における転写後想定穴径を0.35 $\mu$ mとした。なお、ハーフトーン部透過率は図47、図48の例では、例えば13%程度、図49～図51の例では、例えば70%程度である。

【0097】本発明の技術思想は、斜方照明による露光処理によってウエハ上に孤立パターンを転写する場合に、孤立パターンを転写するための実パターンを含む領域に擬似的な繰り返し領域を有する光学マスクを用いる

ことにより、孤立パターンの転写においても、斜方照明を用いた繰返しパターンの転写の場合と同様に、焦点深度の向上を図るものである。そして、これにより、孤立パターンを転写するための露光工程と、繰返しパターンを転写するための露光工程とを同一分類の照明光学系（アパーチャ）を用いるものである。

【0098】まず、斜方照明の原理を図1により説明する。図1(a)は、照射光がマスクに対して垂直に入射する場合であり、この場合、直進する0次光成分と±1次光成分が結像に寄与するが、0次光成分と±1次光成分とではウェハに対する入射角度が異なるので、位相が揃う範囲（焦点深度）が狭い範囲に限られる。一方、同図(b)は、斜方照明の場合であり、この場合、0次光成分と+1次光成分のみ（あるいは0次光成分と-1次光成分のみ）が結像に寄与し、-1次光成分（0次光成分と-1次光成分とで結像した場合は+1次光成分）は光路外へ出て結像しない。この場合、0次光成分と+1次光成分とのウェハでの入射角度が等しく、開口数（以下、NAという）を同一とした場合に回折角が同図

(a)の場合の2倍になるため解像度が向上し、着目パターン寸法を同一とした場合にNAが同図(a)の場合の半分で良いので焦点深度が向上する。

【0099】一般には、回折光の回折角の大きさはパターンの周期によるため、同図(b)の条件を満たすのは、繰返しパターンに対する特定の入射角の照明に限られる。すなわち、斜方照明は、繰返しパターンの露光に特に有効である。また、斜方照明のうちの輪帯照明は、パターン指向性が少なく、斜め方向のパターンに対しても有効である。斜方照明は元々、汎用性を持たせるのに長大な技術開発時間を要すると考えられたレベンソン型位相シフトマスクの代替技術として導入され、繰返しパターンの代表であるラインパターンの露光に広く用いられている。さらに、上記文献1にあるように、逆相ハーフトーンマスクとの組み合わせによる性能向上も知られている。

【0100】次に、本発明で用いた光強度分布からのホールパターンの穴径算出方法について説明し、その後、本発明の技術思想に関して述べる。

【0101】フォトレジスト表面の光強度分布計算には、市販のシミュレータを用いた。露光装置の露光波長は、水銀ランプのi線とし、投影光学系のNAは0.63とした。露光時の焦点をずらした場合の転写後穴径算出方法を図2(a)、(b)に示した。

【0102】図2(a)は、通常マスクを通常照明( $\sigma = 0.7$ )を用いて露光した場合におけるインフォーカス状態でのフォトレジスト上の光強度分布である。想定ホールパターン径は0.35  $\mu\text{m}$ であり、マスクのホールパターンも0.35  $\times$  0.35  $\mu\text{m}$ の場合で示した。想定穴径は0.35  $\mu\text{m}$ なので、 $\pm 0.175 \mu\text{m}$ の位置の相対強度をみると0.248であり、これがこの条件における基準

相対強度となる。0.4  $\mu\text{m}$ デフォーカスした場合の穴径は、今度は逆に基準相対強度が0.248の位置から算出され、0.4  $\mu\text{m}$ デフォーカス時の穴径は、0.313  $\mu\text{m}$ と算出される。このように各条件毎にインフォーカス時の孤立穴の想定穴径エッジに対応する部分の相対強度を基準相対強度として、これと同一の相対強度になる位置を求め、穴径を算出する方法を、本明細書では用いている。

【0103】この算出方法は、ラインパターンのライン幅計算にも同様に適用され、インフォーカス時の想定線幅に対応する位置における相対強度を基準相対強度として、デフォーカス時のライン幅が算出される。さらに、この算出方法は投影光学系に収差がある場合の位置ズレにも適用される。収差が無い場合の想定穴径または想定線幅に対応する位置の相対強度を基準相対強度とし、収差がある場合には、この基準相対強度と等しくなる相対強度の位置から、転写パターンの位置ズレが算出される。

【0104】次に、本発明の技術思想の発想の基になった評価結果とその評価結果から案出された本発明の技術的思想およびその作用効果について述べる。なお、本明細書では、解像度自体に関しては述べず、焦点深度向上効果についてだけ述べる。これは、実用的な解像度は、結局、パターンが転写される基板上の下地段差ないしは露光装置の最良結像位置変動に耐え得る焦点深度が否かにより決定されるためであり、焦点深度が向上することを示せば、実用的な解像度も向上することを示したことになるからである。

【0105】図3には、斜方照明によりホールパターンを転写する場合において解像度の状態を評価するのに用いたマスク50の平面図を示している。マスク50における実パターン51は、例えば0.35  $\mu\text{m} \times 0.35 \mu\text{m}$ の平面正方形に形成され、その領域からは透明基板が露出されている。この実パターン51の四辺に対応するように配置された4個の逆相ハーフトーン領域52は、例えば0.05  $\mu\text{m} \times 0.35 \mu\text{m}$ の平面長方形に形成され、光の透過率は、例えば40%とされている。これら以外の斜線のハッチングで示した領域は、上述の用語の定義のように光の透過を遮る遮蔽領域53である。

【0106】図4は、このマスク50を用いて斜方照明で露光処理した場合の解像度の評価結果を示したもので、マスク50における逆相ハーフトーン領域2を実パターン51から次第に離間させていった場合における0.4  $\mu\text{m}$ デフォーカス穴径の依存性を示したものである。想定穴径は0.35  $\mu\text{m}$ と上記と同じとし、露光波長・NAとマスクの実パターンサイズは上記と同一条件とし、照明条件は斜方照明の代表である輪帯照明( $0.42 \leq \sigma \leq 0.7$ )とした。この依存性から、斜方照明（特に輪帯照明）を用いた場合には、以下の傾向があることが半明した。

【0107】第1に、 $0.4\mu\text{m}$ デフォーカス時穴径と比較すると、通常マスクより大きな穴径となるのは、すなわち、焦点深度が向上するのは、逆相ハーフトーン領域52が、実パターン51との間に約 $0.25\mu\text{m}$ 未満の幅の遮光領域53を介して配置されている場合だけである。このような効果が得られる領域を1次近接領域とした。

【0108】第2に、逆相ハーフトーン領域52が、実パターン51との間に約 $0.25\mu\text{m}$ ～約 $0.95\mu\text{m}$ の幅の遮光領域53を介して配置された場合には、 $0.4\mu\text{m}$ デフォーカス時穴径が通常照明の場合より小さくなる。従って、この平面位置に逆相ハーフトーン領域52を配置することは逆効果であり、この位置（領域）に同相ハーフトーン領域を配置すれば、焦点深度の向上効果が得られることが判る。このような領域を2次近接領域とした。

【0109】第3に、実パターン51と逆相ハーフトーン領域52との間の遮光領域53の幅が $0.95\mu\text{m}$ 以上の領域では、再度、逆相ハーフトーン領域52を配置することで焦点深度の向上をもたらす。このような領域を外縁領域とした。

【0110】これらの評価結果から、例えば次のような本発明の技術思想が案出される。すなわち、逆相ハーフトーン領域と同相ハーフトーン領域とを適した位置に配置して組み合わせる、または、それらのハーフトーン領域の間に、 $90^\circ$ 位相シフトハーフトーン領域を介在させるものである。

【0111】また、実パターンの中心から外方に向かうにしたがって連続に位相差が変化するようなマスク（グラディエントシフトマスク）を用いれば、焦点深度の向上が図れることが判る。ただし、グラディエントシフトマスクの製作は、実質的に困難なので、本実施の形態では、位相差が段階的に変化するマスクを用いる。また、段階的とはいえあまり複数段階の位相差を設けると、マスク製作プロセスが複雑となるので、本実施の形態では位相差は1段とし、後述するように実パターンの近傍は逆相ハーフトーン領域、その外側は同相ハーフトーン領域とし、それらハーフトーン領域の透過率は、逆相／同相領域間で概略的に等しくする。この様に簡略化したマスク構造とすることにより、現実的に製作可能なマスクを得る。

【0112】また、上記外側の同相ハーフトーン領域の方が内側の逆相ハーフトーン領域よりも広くしたマスク構造や実パターンの周りに同相ハーフトーン領域だけを配置したマスク構造でも、焦点深度の向上が図れる。また、実パターンに近接する上記1次近接領域に遮光領域を配置し、その外側（2次近接領域および外縁領域）に同相ハーフトーン領域を配置するマスク構造とすれば、さらに焦点深度の向上が図れる。さらに、逆相補助パターンが、例えば $0.05\mu\text{m}$ の幅を持っていることを考慮

すると、上記のように $1.0\mu\text{m}$ 以遠の外縁領域は逆相ハーフトーン効果域なので、この領域に遮光領域を配置し、実パターンの近傍の1次近接領域に遮光領域を配置し、かつ、2次近接領域に同相ハーフトーン領域を配置した遮光領域および同相ハーフトーン領域の混在型のマスク構造とすれば、さらに焦点深度の向上が図れる。これらのマスク構造における効果は、いずれのマスク構造においても、ホールパターンのみならず、ラインパターンの孤立部分ないしは上記繰り返し端部においても得られる。

【0113】また、以上の説明では、マスクにおける実パターンが光透過領域の場合であったが、マスク上で実パターンが遮光領域の場合は、実パターンの周辺の1次近接領域に光透過領域を配置し、2次近接領域および外縁領域に同相ハーフトーン領域を配置するマスク構造とすれば、焦点深度の向上が図れる。また、実パターンが遮光領域の場合には、上記1次近接領域に光透過領域を配置し、上記2次透過領域に同相ハーフトーン領域を配置し、上記外縁領域に光透過領域を配置するマスク構造とすれば、さらに焦点深度の向上が図れる。これら実パターンが遮光領域である場合のマスク構造における効果は、いずれのマスク構造においても、ホールパターンのみならず、ラインパターンの孤立部分または上記した繰り返し端部においても得られる。

【0114】次に、このような本発明の技術思想の他の作用および効果について説明する。

【0115】まず、斜方照明の場合は、その結像原理から、他の照明を用いた場合に比べて、回折0次光成分が他の次数成分との比率において大きく、コントラストが低いことに弱点がある。このため、穴径の小さな実パターンを有するマスクを用いて露光すれば、斜方照明を用いる場合の方が他の照明の場合よりも焦点深度の向上効果は大きくなると考えられる。

【0116】図5には、この効果が示されており、インフォーカス時における転写後の想定穴径とマスクにおける実パターンの穴径とが等しいとした場合の $0.4\mu\text{m}$ デフォーカス時穴径を基準として、マスクの実パターンの穴径を小さくした場合の $0.4\mu\text{m}$ デフォーカス時における穴径相対値を示した。輪帯照明の場合の方が、小 $\sigma$ 照明の場合よりも、デフォーカス時穴径のマスクにおける実パターンの穴径依存性が大きく、輪帯照明の場合は、マスクにおける実パターンの穴径を小さくすることにより、焦点深度の向上効果が得易いことを示している。

【0117】また、斜方照明を用いた場合、不要光のピーク部の相対強度と前記基準相対強度との比である不要光強度比が元々小さいので、マスクの実パターンの穴径を小さくしても、不要パターン形成の問題が発生し難いという効果も得られる。

【0118】ここで、図6には、通常マスクを斜方照明と小 $\sigma$ 照明を用いて露光した場合の不要光強度比を示し

た。不要光強度比は、不要光相対強度と基準相対強度との比である。図6(a)は孤立ホールパターンの不要光強度比、同図(b)は1方向に連続ホールパターンを配置し、各ホールパターン中心間を結ぶ線分の垂直2等分線上の不要光強度比を示した。また、図6においては、ホールパターン中央から想定穴径と同一の範囲内の光は、プライマリピークの裾として削除した。孤立ホールパターンの場合は、不要光強度比に大きな差異はない。しかし、連続ホールパターンの場合は、小 $\sigma$ 照明時はホールパターン中央間を結ぶ線分からの距離が0.4 $\mu$ m弱の位置(この位置は、孤立ホールパターンで中心から0.5 $\mu$ m強の位置にあるセカンダリピークが、連続ホールパターンの場合に隣接ホールパターンのセカンダリピークと重なる位置に対応する。)に通常マスクの場合でも強度比5%を上回る不要光のピークがあるのに対し、斜方照明の場合は特にピークを持たない。しかも、孤立ホールパターンと連続ホールパターンとの不要光強度比を比較すると、小 $\sigma$ 照明の場合は連続ホールパターンで大幅に増加しているのに対し、斜方照明の場合は殆ど増加しない。すなわち、セカンダリピークがさらに重なっても、斜方照明の場合は、不要光強度比が上がる可能性は殆ど無い。この差異は、照明種の違いによる空間的な干渉性が、斜方照明の方が低いと理解される。この斜方照明の利点は、パターン配置において、制約が殆ど無いというパターン配置設計上の利点に繋がる。

【0119】また、図7には、逆相ハーフトーンマスクおよび同相ハーフトーンマスクを斜方照明を用いて露光した場合の光強度分布を示した。また、図7には、実パターンの近傍に遮光領域を配置した場合の光強度分布をも示した。図7(a)は、3つの場合の相対強度分布を示しているが、逆相ハーフトーンの場合と比較し、同相ハーフトーンを用いた2種のマスクとも、実パターンに対応する部分の相対強度が低くなっていないことを示している。これは、逆相ハーフトーンマスクでは、逆相ハーフトーン領域を透過した光と実パターンを透過した光とが弱め合う干渉を引き起こす結果、実パターンに対応する部分の相対強度が下がるのに対し、同相ハーフトーンマスクにおいては、この弱め合う干渉効果が小さいためと推定される。従って、同相ハーフトーンの場合は、コントラストも低い。また、図7(b)には、同図

(a)の強度分布データを条件別に基準相対強度で割った強度比に変形し、実パターン部分を除いた不要光強度比の比較を示した。図7(a)に示した相対強度において同等であった不要光の強度は、弱め合う干渉の結果として基準相対強度が下がる逆相ハーフトーンマスクの場合、強度比としては孤立穴でも30%を超え、弱め合う干渉効果の小さい同相ハーフトーンマスクの場合、20%強に留まる。以上、本発明の技術思想では、斜方照明の空間的な干渉性の低さと同相ハーフトーン領域の弱め合う干渉性の低さの2つの利点がある。

【0120】次に、本実施の形態におけるマスクの具体的な構造を説明する。まず、斜方照明の代表である輪帯照明を用いて、孤立パターンの代表である孤立ホールパターンの解像度を向上させる技術を中心に説明する。これは、斜方照明によるラインパターンの解像度の向上効果は既知なので、斜方照明を用いた場合においてホールパターンの解像度を向上できる手法を示せば、照明系アパーチャ切り換えが不要となり、その切り換えに起因するパターンの重ね合せ精度劣化を回避できることを示すことになるからである。

【0121】マスクの第1の具体例では、図8に示すように、マスク1の主面に、実パターン2H、逆相ハーフトーン領域3A、同相ハーフトーン領域3Bおよび遮光領域4が図1の中央から外方に沿って順に段階的に配置されている。すなわち、このマスク1には、実パターン2Hを中心とした疑似的な繰返し領域が形成されている。

【0122】図1の中央の実パターン2Hは、ウェハ上のフォトリソ膜にホールパターンを転写するためのマスクパターンであり、例えば0.35 $\mu$ m $\times$ 0.35 $\mu$ mの平面正方形に形成されている。この実パターン2Hの形成領域はマスク1maの透明基板が露出されており、ここを透過する光の透過率は透明基板の透過率に等しい。なお、この実パターン2Hは、フォトリソ膜においてほぼ平面丸形のパターンとなって転写される。この場合のフォトリソ膜にはポジ型が使用される(以下、ホールパターン転写用のマスクにおいて同じ)。

【0123】この実パターン2Hを取り囲む逆相ハーフトーン領域3Aは、ここを透過した光と実パターン2Hを透過した光との間に180°の位相差を生じさせる領域であり、特に限定されないが、例えば幅(相対的に幅広領域の幅)が0.3 $\mu$ m程度の外周八角形の環状に形成されている。逆相ハーフトーン領域3Aを構成する逆相ハーフトーン膜の構成材料は、特に限定されないが、例えばMoSiO<sub>2</sub>N<sub>2</sub>等とした。また、その逆相ハーフトーン膜は一層構造である必要はなく、Cr薄膜またはCrNx等のハーフトーン特性を示す層とSiO<sub>2</sub>・CrOxNyまたはCrFx等の位相シフト膜との2層構造であっても良い。

【0124】この逆相ハーフトーン領域3Aを取り囲む同相ハーフトーン領域3Bは、ここを透過した光の位相と実パターン2Hを透過した光の位相とが同相になる領域であり、特に限定されないが、例えば幅(相対的に幅広領域の幅)が0.7 $\mu$ m程度の外周八角形の環状に形成されている。同相ハーフトーン領域3Bを構成する同相ハーフトーン膜は、上記1層または2層構造の逆相ハーフトーン膜の位相シフト量を360°に変えた膜でも良いし、CrNx等の単層ハーフトーン膜でも良い。さらに遮光膜形成用のCr・MoSi等を薄膜化しても良



い。

【0125】この同相ハーフトーン領域3Bを取り囲む遮光領域4は、上記用語の定義のように光の透過を遮る領域であり、例えばCr・MoSixやCrの単体膜またはCrとCr<sub>x</sub>O<sub>y</sub>との積層膜で構成されている。ただし、図1の遮光領域4の配置領域にその遮光領域4に代えて同相ハーフトーン領域3Bを延在させて配置しても良い。また、同相ハーフトーン領域も省略し、実パターンの周囲に逆相ハーフトーン領域を配置し、その外側に遮光領域を配置しても、効果は劣るものの、焦点深度

【0126】図9は、このマスク1を用いた場合と、通常の逆相ハーフトーンマスクを用いた場合とで焦点深度を比較したグラフ図である。露光光には、同一の斜方照明（輪帯照明）を用いている。実線が本実施の形態のマスクを用いた場合であり、破線が通常の逆相ハーフトーンマスクを用いた場合である。この図9から本実施の形態のマスク1を用いることにより、露光光源に斜方照明を用いた場合であっても、ホールパターンの焦点深度を向上させることが可能となることわかる。

【0127】次に、このマスク1の製造方法を説明する。このマスク1の第1の製造方法例では、まず、図10に示すように、透明基板1Sの主面上に逆相ハーフトーン膜3A1を介して遮光膜4aを被着したマスク基板を用意する。続いて、図11に示すように、この遮光膜4a上に実パターンの形成領域が露出され、それ以外が被覆されるようなフォトリソパターン5aを形成した後、これをエッチングマスクとして、ここから露出する遮光膜4aおよび逆相ハーフトーン膜3A1を除去し、さらに、フォトリソパターン5aを除去して、図12に示すマスク基板を得る。次いで、図13に示すように、遮光膜4a上に、遮光領域が被覆され、それ以外が露出されるようなフォトリソパターン5bを形成した後、これをエッチングマスクとして、ここから露出する遮光膜4aを除去し、さらに、フォトリソパターン5bを除去して、図14に示すマスク基板を得る。続いて、図15に示すように、透明基板1Sの主面上に同相ハーフトーン領域形成用のシフト膜3B1を被着する。このシフト膜3B1自体は、例えばSiO<sub>x</sub>・CrO<sub>x</sub>NyまたはCrFx等、透明基板1Sと同等程度の透過率を有する透明膜からなり、実パターンを透過した光の位相に対して180度の位相差が生じるように設定されている。すなわち、同相ハーフトーン領域3B

（図8参照）は、逆相ハーフトーン膜3A1とシフト膜3B1との2層構造で構成され、ここを透過した光の位相が実パターン2H（図8参照）を透過した光の位相と同相となるようになっている。その後、図16に示すように、シフト膜3B1上に、遮光領域および同相ハーフトーン領域が覆われ、かつ、逆相ハーフトーン領域が露出されるようなフォトリソパターン5cを形成した

後、これをエッチングマスクとして、ここから露出するシフト膜3B1を除去し、フォトリソパターン5cを除去して、図17に示すように、実パターン2H、逆相ハーフトーン領域3Aおよび同相ハーフトーン領域3Bを有するマスク1を得る。

【0128】次に、マスク1の第2の製造方法例では、まず、図18に示すように、透明基板1Sの主面上に逆相ハーフトーン膜3A1を介して遮光膜4aを被着したマスク基板を用意し、この遮光膜4a上に、遮光領域が被覆され、それ以外が露出されるようなフォトリソパターン5dを形成した後、これをエッチングマスクとして、ここから露出する遮光膜4aを除去し、さらに、フォトリソパターン5dを除去して、図19に示すマスク基板を得る。続いて、図20に示すように、この透明基板1Sの主面上に、同相ハーフトーン領域形成用のシフト膜3B1を被着した後、その上に、図21に示すように、実パターンおよび逆相ハーフトーン領域が露出され、同相ハーフトーン領域および遮光領域が被覆されるようなフォトリソパターン5eを形成する。その後、そのフォトリソパターン5eをエッチングマスクとして、ここから露出するシフト膜3B1を除去し、さらに、フォトリソパターン5eを除去して、図22に示すマスク基板を得る。この段階では実パターンの領域にも逆相ハーフトーン膜3A1が被覆されている。次いで、図23に示すように、透明基板1Sの主面上に実パターンの領域が露出され、逆相ハーフトーン領域、同相ハーフトーン領域および遮光領域が被覆されるようなフォトリソパターン5fを形成した後、それをエッチングマスクとして、そこから露出する逆相ハーフトーン膜3A1を除去し、さらに、フォトリソパターン5fを除去して、図24に示すように、実パターン2H、逆相ハーフトーン領域3Aおよび同相ハーフトーン領域3Bを有するマスク1を得る。

【0129】次に、マスク1の第3の製造方法例では、まず、図25に示すように、透明基板1Sの主面上に、上述のマスク製造例と異なり、同相ハーフトーン膜3B2を介して遮光膜4aを被着したマスク基板を用意する。続いて、図26に示すように、この遮光膜4a上に、遮光領域が被覆され、それ以外が露出されるようなフォトリソパターン5gを形成した後、これをエッチングマスクとして、ここから露出する遮光膜4aを除去し、フォトリソパターン5gを除去して、図27に示すマスク基板を得る。その後、図28に示すように、透明基板1Sの主面上に、シフト膜3A2を被着する。このシフト膜3A2自体は、例えばSiO<sub>x</sub>・CrO<sub>x</sub>NyまたはCrFx等、透明基板1Sと同等程度の透過率を有する透明膜からなり、実パターンを透過した光の位相に対して180度の位相差が生じるように設定されている。次いで、図29に示すように、シフト膜3A2の上に、実パターンおよび逆相ハーフトーン領域を



覆うフォトリジストパターン5hを形成した後、そのフォトリジストパターン5hをエッチングマスクとして、そこから露出するシフト膜3A2を除去し、フォトリジストパターン5hを除去して、図30に示すマスク基板を得る。この段階では同相ハーフトーン膜3B2は残されたままである。続いて、図31に示すように、透明基板1Sの主面上に実パターン形成領域が露出するようなフォトリジストパターン5iを形成した後、これをエッチングマスクとして、ここから露出するシフト膜3A2および同相ハーフトーン膜3B2を除去し、さらにフォトリジストパターン5iを除去することにより、図32に示すように、実パターン2H、逆相ハーフトーン領域3Aおよび同相ハーフトーン領域3Bが形成されたマスク1を得る。この場合の逆相ハーフトーン領域3Aは、同相ハーフトーン膜3B2とシフト膜3A2との2層構造で構成されている。この逆相ハーフトーン領域3Aを構成するシフト膜3A2は光の位相を反転させる機能を備え、その同相ハーフトーン膜3B2は、光の透過率を下げる機能を備えている。

【0130】上述のいずれのマスクの製造例においても、実パターンの周囲の領域をハーフトーン膜によって形成している。従って、光の透過率を下げるできるので、ある程度の幅を有していてもウェハ上のフォトリジスト膜には転写されないように露光が可能である。上述の例でもハーフトーン膜の最小加工寸法は、例えば0.3μm程度であり、この程度ならば加工が困難となることもない。

【0131】次に、マスクの第2の具体例では、図33に示すように、マスク1の主面において、実パターン2Hの周辺に全面的に同相ハーフトーン領域3Bが配置され、実パターン2Hを中心とした疑似的な繰り返し領域が形成されている。

【0132】図34は、このようなマスク1を用いた場合と、このマスク1の構造で実パターンの寸法をさらに微細化した場合と、通常の逆相ハーフトーンマスクを用いた場合とで焦点深度を比較したグラフ図である。露光光には、同一の斜方照明（輪帯照明）を用いている。実線がこのマスク1の場合およびこのマスク1の構造で実パターンの寸法を微細化した場合であり、破線が通常の逆相ハーフトーンマスクを用いた場合である。この図34から同相ハーフトーンマスク（図33のマスク1）を用いても、ホールパターンの焦点深度を向上させることが可能となることがわかる。さらに、図33のマスク1では、マスク1の実パターン2Hの穴径を縮小しても、図35に示すように、不要光強度比の増加が小さいので、マスク1の実パターンの穴径を0.35μmから0.25μmに縮小できる。また、このように実パターンの穴径を縮小した場合の方が、図34に示すように、焦点深度の向上が図れる。

【0133】このようなマスク1の製造方法は、上記し

たのと同じであり、マスク基板として同相ハーフトーン基板を用いても良いし、また、360°位相シフトハーフトーン基板を用いても良い。

【0134】次に、マスクの第3の具体例では、図36に示すように、マスク1の主面に、実パターン2H、遮光領域4Aおよび同相ハーフトーン領域3Bが図36の中央から外方に沿って順に段階的に配置されて、実パターン2Hを中心とした疑似的な繰り返し領域が形成されている。

【0135】この実パターン2Hを取り囲む遮光領域4Aは、上記した1次近接領域に配置されており、例えば幅（相対的に幅広領域の幅）が0.3μm程度の外周八角形の環状に形成されている。遮光領域4Aの構成材料は、上記した遮光領域4の場合と同じなので説明を省略する。なお、遮光領域4Aの外周形状は八角形状に限定されるものではなく種々変更可能であり、例えば実パターン2Hの相似拡大図形である正方形としても、露光性能に差し障りは生じない。

【0136】図37は、このマスク1を用いた場合と、通常の逆相ハーフトーンマスクを用いた場合とで焦点深度を比較したグラフ図である。露光光には、同一の斜方照明（輪帯照明）を用いている。実線が図36のマスク1を用いた場合であり、破線が通常の逆相ハーフトーンマスクを用いた場合である。この図37からこのマスク1を用いることにより、露光光源に斜方照明を用いた場合であっても、ホールパターンの焦点深度を向上させることが可能となることがわかる。しかも、図38に示すように、このマスク1を用いた場合の方が、通常の逆相ハーフトーンマスクを用いた場合よりも不要光強度比も小さい。

【0137】このようなマスク1を製造するには、まず、図39に示すように、透明基板1Sの主面上に、上記マスクの第3の製造方法と同様に、同相ハーフトーン膜3B2を介して遮光膜4aを被着したマスク基板を用意する。続いて、図40に示すように、この遮光膜4a上に、実パターンの形成領域が露出され、それ以外の領域が覆われるようなフォトリジストパターン5jを形成した後、これをエッチングマスクとして、ここから露出する遮光膜4aおよび同相ハーフトーン領域3B2を除去し、さらに、フォトリジストパターン5jを除去して、図41に示すマスク基板を得る。その後、図42に示すように、実パターンおよび遮光領域4A（図36参照）の形成領域が被覆され、それ以外が露出されるようなフォトリジストパターン5kを形成した後、そのフォトリジストパターン5kをエッチングマスクとして、そこから露出する遮光膜4aを除去し、さらに、フォトリジストパターン5kを除去して、図43に示すように、実パターン2H、遮光領域4Aおよび同相ハーフトーン領域3Bが形成されたマスク1を得る。このマスク1の場合は、逆相ハーフトーン膜を設けない分、図8に示し

10

20

30

40

50

たマスク1よりも製造が容易である。

【0138】なお、このマスク1の製造方法例では、マスク基板として、上記マスクの第3の製造方法で説明した同相ハーフトーン基板を用いた場合について説明したが、これに限定されるものではなく、上記マスクの第1および第2の製造方法で説明したのと同様に、逆相ハーフトーン基板を用い、シフト膜3B1（図17および図24参照）を形成して同相ハーフトーン領域3Bを形成しても良い。

【0139】次に、マスクの第4の具体例では、図44 10  
に示すように、マスク1の主面に、実パターン2H、遮光領域4A、同相ハーフトーン領域3Bおよび遮光領域4が図44の中央から外方に沿って順に段階的に配置されて、実パターン2Hを中心とした疑似的な繰り返し領域が形成されている。このマスク1の構造は、図8で示したマスク1の逆相ハーフトーン領域3Aに代えて遮光領域4を配置したものに等しい。なお、同相ハーフトーン領域3Bの外周および内周形状は八角形状に限定されるものではなく種々変更可能であり、例えば実パターン2Hの相似拡大図形である正方形としても、露光性能に 20  
差し障りは生じない。

【0140】図45は、図44のマスク1を用い斜方照明により露光して得られた結果（相対的に太い実線）、図44のマスク1の実パターンの穴径を小さくしたマスクを用い斜方照明により露光した得られた結果（相対的に細い実線）、通常の逆相ハーフトーンマスクを用い小 $\sigma$ 照明により露光して得られた結果（一点鎖線）、通常の逆相ハーフトーンマスクにおいて実パターンの穴径を拡大したマスクを用い小 $\sigma$ 照明により露光して得られた結果（相対的に太い破線）および通常の逆相ハーフトーンマスクを用い斜方照明により露光して得られた結果（相対的に細い破線）を比較したグラフ図である。この図45から図44のマスク1を用いた場合の方が、逆相ハーフトーンマスクを斜方照明で露光する場合と比べて、焦点深度向上効果が顕著であることが判る。

【0141】図46は、逆相ハーフトーンマスクを小 $\sigma$ 照明を用いて露光する場合の不要光強度比を、図44のマスク1を用いた場合と比較したものである。図46

（a）は、孤立ホールパターンの場合、同図（b）は想定穴径の2倍のピッチ穴を並べた1方向連続穴のホール中心間を結ぶ線分の垂直2等分線上の最大不要光強度比を示し、さらに、同図（c）は2方向連続穴の最大不要光強度比を示した。この2方向連続穴においては、1方向の穴ピッチは想定穴径の2倍、もう一方は、1方向連続穴のホール中心間を結ぶ線分の垂直2等分線上の最大不要光強度を与える位置と穴中心間を結ぶ線分との距離の2倍のピッチとし、連続穴を配置した。なお、図46において、実施例条件1は、図44のマスク1を用い斜方照明（輪帯照明）により露光処理した場合、実施例条件2は、図44のマスク1の実パターンの穴径を縮小 50

したマスクを用い斜方照明（輪帯照明）により露光処理した場合、検討技術条件1は、通常の逆相ハーフトーンマスクを用い小 $\sigma$ 照明を用いて露光処理した場合、検討技術条件2は、通常の逆相ハーフトーンマスクの実パターンの穴径を拡大したマスクを用い小 $\sigma$ 照明を用いて露光した場合である。

【0142】図44のマスク1を用いた場合、ホールパターン配置の連続化により、同相ハーフトーン領域の多くは削除されるが、これは、輪帯照明の特徴を発揮する繰り返しパターンとなっていることを示唆しており、露光性能劣化の懸念はない。この図46の結果から、検討技術である逆相ハーフトーンマスクを小 $\sigma$ 照明で露光する場合には、連続穴において不要光強度比が増加することが判る。穴径を拡大しない場合は、2方向連続穴において、強度比が0.9以上となり、穴パターンのエッジ部との光強度に近く、ポジレジストを露光現像した場合には、この個所のレジストの多くの部分が現像で溶解され、残膜は非常に薄くなる。このため、検討技術である逆相ハーフトーンマスクを小 $\sigma$ 照明で露光する場合には、マスクにおける実パターンの穴径を拡大する手段が 用いられる。

【0143】この場合の不要光強度比も図46に含めた。検討技術の条件2は、図46（a）に示すように、孤立ホールパターンの場合は、図44のマスク1における穴径縮小の場合の不要光強度比を下回ることが判るが、2方向連続穴の場合は、図46（c）に示すように、小 $\sigma$ 照明の空間的な干渉性の高さ起因して、図44のマスク1における穴径縮小の場合を上回る不要光強度比となる。また、図44のマスク1の実パターンの穴径を縮小した場合と、検討技術の条件2とを比較すると、結局、図45に示した焦点深度向上効果においては同等であるが、図46に示した不要光強度比においては図44のマスク1の方が優位である。従って、本実施の形態は、非常に有用な解像度向上技術であることが判る。

【0144】このような図44のマスク1の製造プロセスは、同相ハーフトーン領域3Bの面積が変わるものの、図36のマスク1の製造プロセスとほぼ同じなので説明を省略する。そして、この場合も実パターン2Hの近傍の遮光領域4Aの幅（相対的に幅広領域の幅）は0.3 $\mu$ m程度、同相ハーフトーン領域3Bの幅は0.7 $\mu$ m程度であり、マスク1を加工する上が困難なレベルではない。連続ホールパターンにおいては、同相ハーフトーン領域3Bの幅が極端に狭くなる場合が生じる可能性もあるが、これはマスク加工レベルに合せて、マスク製作用の図形データの拡大縮小処理により消去しても、連続ホールパターンで繰り返し性があるため、輪帯照明時の露光性能劣化には結び付かない。また、実パターン2Hの近傍が遮光領域4Aであることより、従来通りのマスク修正技術を適用することが可能である。同相ハーフト

ーン領域3Bは、透過率が低く面積が大きいので、欠陥に対する裕度は大きい。

【0145】以上の説明では、照明系切り換えに起因するパターン重ね合せ精度の劣化を防止するために、従来からラインパターンの解像度向上技術に用いられている輪帯照明を、孤立パターンの代表であるホールパターンの露光にも適用した場合について具体的に説明した。

【0146】以下においては、本発明で明らかにしてきた斜方照明を用いる場合の孤立パターンの解像度向上手法を、ラインパターンの露光に適用し、繰り返し配置される(周期的に配置される)ラインパターンのうちの孤立ライン部分や繰り返し端(最外側)のラインパターンの解像性能を向上させる技術について説明する。これにより、斜方照明が本質的にもっている弱点の多くの部分に関して、本発明により弱点補強が可能となり、統一した照明形状を適用することができ、パターン重ね合せ精度劣化を防止することが可能となる。

【0147】まず、ラインパターンを転写するためのマスクの実パターンが光透過領域からなる場合について説明し、孤立ライン部分ないしは繰り返し端のラインの焦点深度の向上効果を示す。なお、以下のラインパターンへの適用例では、上記マスクの第4の具体例(図44)と同一の手法を用いた場合で説明するが、上記第1～第3の具体例(図8、図33および図36)で示した手法を用いても同様の効果が得られる。

【0148】すなわち、本実施の形態であるマスクの第5の具体例では、図47に示すように、マスク1の主面に、個々の実パターン2Mの外周が遮光領域4Aで取り囲まれ、その遮光領域4Aの外方に同相ハーフトーン領域3Bを介して遮光領域4が配置される構造となっている。

【0149】複数の実パターン2Mは、ウェハ上のネガ型のフォトリソ膜にラインパターンを転写するためのマスクパターンであり、個々が帯状に形成され、互いに平行に所定の間隔を隔てて繰り返し配置されている。この実パターン2Mの形成領域はマスク1の透明基板が露出されており、ここを透過する光の透過率は透明基板の透過率に等しい。なお、この実パターン2Mは、フォトリソ膜において実パターン2Mと相似形状のラインパターンとなって転写される(以下、ラインパターン転写用のマスクにおいて同じ)。

【0150】この複数の実パターン2Mのうち、図47の中央における実パターン2Mの上下の部分は、その周囲に他の実パターン2Mが存在せず、孤立実パターン部となっている。また、複数の実パターン2M群のうちの最も外側に位置する実パターン2Mは、その片側に他の実パターンが存在せず、孤立実パターンとほぼ等価になっている(繰り返し端)。図47のマスク1の場合は、上述の斜方照明による露光処理によって、その孤立実パターン部および繰り返し端のパターンの解像度をも向上

させることが可能となっている。なお、マスク1を構成する透明基板や遮光領域4、4Aおよび同相ハーフトーン領域3Bの構成材料、透過率および寸法等は上述の第4の具体例と同じであり、そのマスク製造上の利点もそのままこの第5の具体例に適用される。

【0151】図48には、ホールパターンの穴径算出方法と同様の方法で算出したラインパターンのライン幅のデフォーカス量依存性が示されており、同図(a)は、図47の5本繰り返しラインのうちの中央のライン幅を、同図(b)は繰り返し端部のラインサイズを、同図(c)は孤立ライン部のライン幅を示している。なお、この算出においては、5本繰り返しラインの幅方向中央のラインの想定線幅に対応する位置の相対露光強度を基準相対強度としている。相対的に細い実線は図47のマスク1を用いた場合を示し、破線は通常のマスク(マスクパターンが遮光領域と透過領域とで構成され、位相シフト膜やハーフトーン膜を有しない通常のマスク)を用いた場合を示している。

【0152】図48には、図47のマスク1を用いた場合も通常のマスクを用いた場合も輪帯照明を用いているため、図48(a)に示すように、5本の繰り返し中央のラインにおける焦点深度に殆ど差が無く、繰り返しパターンの転写では輪帯照明だけで大きな焦点深度の向上効果が得られることがよく示されている。しかし、孤立要素が含まれる繰り返し端部のラインや孤立ライン部では、図48(b)、(c)に示すように、繰り返し部分に比べて焦点深度が減衰している。図47のマスク1のような構造とすることで、その孤立要素が含まれる領域でも焦点深度が向上していることが判る。

【0153】次に、本実施の形態であるマスクの第6の具体例では、その構造が上記第5の具体例とほぼ同じである。上記第5の具体例では、同相ハーフトーン領域3Bの透過率をホールパターンの場合と同一としたのに対し、第6の具体例では、その同相ハーフトーン領域3Bの透過率をそれよりも上げた。

【0154】これは、ホールパターンでは転写後の基準相対強度が低いために透過率を上げると不要光強度比が増加し不要パターンが形成されるのに対し、ラインパターンでは基準相対強度が高く、透過率を上げて不要パターンが形成される恐れが小さいためである。この第6の具体例の場合は、同相ハーフトーン領域3Bの透過率を13%とし、ホールパターンの場合の倍以上の透過率とした。同相ハーフトーン領域3Bの幅は、ホールパターンの場合と同一としたが、これに限定されるものではなく、不要光強度比ならびに焦点深度向上効果の大きさに応じて変えても何等問題はない。

【0155】図48には、第6の具体例の場合の焦点深度の向上効果をも相対的に太い実線で示した。この場合のマスクの製造プロセスは、第5の具体例の場合と同様であり、同相ハーフトーン領域3Bの欠陥に対する感度

10

20

30

40

50

が若干上がるものの、その利点も同じである。そして、この第6の具体例のように、同相ハーフトーン領域の透過率を、ホールパターン/ラインパターン間で使い分けることにより、ラインパターンの繰り返し端部と孤立パターン部において、大きな焦点深度の向上効果が得られる。

【0156】ただし、上記第5および第6の具体例では、マスク1の実パターン2Mの周辺は遮光領域4Aとしたが、これを、本実施の形態の第1の具体例と同様に、逆相ハーフトーン領域としても同様の効果が得られる。また、上記第2の具体例と同様に、マスク1の実パターンの周辺には遮光領域4Aを設けずに、全面的に同相ハーフトーン領域3Bを設けた構造としても良い。さらに、第5および第6の具体例では、同相ハーフトーン領域の幅を制限したが、この制限を外し、マスク1の実パターンの周辺に遮光領域を配置し、さらにその外側に同相ハーフトーン領域を配置した構造としても良い。

【0157】以上の本実施の形態の第1～第6の具体例では、マスク1の実パターンが光透過領域である場合について焦点深度（すなわち、解像度）の向上効果を示してきた。しかしながら、現状のラインパターンの転写においては、マスクの実パターンが遮光領域で構成されるマスクを用いるのが一般的である。そこで、以下の第7と第8のマスクの具体例においては、斜方照明（輪帯照明等）を用いた露光技術において、マスクの実パターンが遮光領域で構成される場合について説明する。なお、各条件は特に記載の無い限り、上記第1～第6の具体例と同一の条件を用いている。

【0158】まず、マスクの第7の具体例は、実パターンが遮光領域からなる場合における輪帯照明を用いた焦点深度の向上技術であり、基本的に上記第3の具体例の転用である。すなわち、図49に示すように、マスク1の主面上には、遮光領域で構成された実パターン2Mが配置され、その周囲を取り囲むように一定幅の光透過領域6Aが配置され、さらにその外方に同相ハーフトーン領域3Bが配置されている。この場合の同相ハーフトーン領域3Bは、本来、光透過領域となる領域に配置されているので、その光透過率には高い透過率が必要であり、例えば70%程度とされている。また、光透過領域6Aはマスク1の透明基板が露出されており、その光透過率は透明基板の光透過率に等しい。なお、この場合は、ウエハ上のポジ型のフォトリソ膜にラインパターンを転写する。

【0159】この場合の焦点深度向上効果を図50に示した。同図(a)は、図49の5本繰り返しラインのうちの中央のライン幅を、同図(b)は繰り返し端部のラインサイズを、同図(c)は孤立ライン部のライン幅を示している。相対的に細い実線は図49のマスク1を用いた場合を示し、破線は通常のマスク（マスクパターンが遮光領域と透過領域とで構成され、位相シフト膜やハ

ーフトーン膜を有しない通常のマスク）を用いた場合を示している。

【0160】図49のマスク1を用いた場合も通常のマスクを用いた場合も輪帯照明を用いているため、図50(a)に示すように、5本の繰り返し中央のラインでは焦点深度に殆ど差が無く、繰り返しパターンの転写では輪帯照明だけで大きな焦点深度の向上効果が得られているものの、図50(b), (c)に示すように、孤立要素が含まれる繰り返し端部のラインや孤立ライン部では、繰り返し部分に比べて焦点深度が減衰している。図49のマスク1のような構造とすることで、その孤立要素が含まれる領域でも焦点深度が向上していることが判る。

【0161】次に、マスクの第8の具体例は、基本的に上記第4の実施例の転用であり、図51に示すように、同相ハーフトーン領域3Bが帯状のパターンで形成され、その外周に光透過領域6Bが配置されている。上記第7の具体例では、同相ハーフトーン領域の幅が制限されていなかったが、第8の具体例では、同相ハーフトーン領域3Bの幅に制限が加えられ、その幅がほぼ実パターン2Mの幅と同程度とされている。すなわち、第8の具体例では、同相ハーフトーン領域3Bを配置することで、孤立パターン部および繰り返し端部にも、擬似的な繰り返し性を持たせたものである。この場合も図50の相対的に太い実線で示すように、孤立要素を有する領域において、上記第7の具体例の場合よりもさらに良好な効果が得られる。

【0162】以上、第7および第8の具体例においては、広く用いられている条件に合せて、マスクにおける実パターンが遮光領域で形成されている場合について記したが、これが透過率の低い逆相ハーフトーン領域で置き換えられても、同様の効果が得られる。また、第8の具体例における同相ハーフトーン領域3Bは、必ずしも同相である必要はなく、逆相ハーフトーン領域に置き換えても良い。また、同相ハーフトーン領域3Bの光透過率は、前記の如くホールパターン/ラインパターン間で使い分けるだけでなく、第7および第8の具体例で示したように、マスクの実パターンの光透過領域/遮光領域間で使い分けることにより、大きな焦点深度向上効果が得られる。

【0163】このように斜方照明（輪帯照明）を用いた露光処理に際して、上記の第5～第8の具体例に示したマスク1を用いることにより、斜方照明による繰り返しパターンの露光処理において弱点である孤立パターン部および繰り返し端部の解像度もも向上させることが可能となる。

【0164】また、上記第5～第8の具体例に示したマスク1で転写されたラインパターンに重ね合わせられるホールパターンの斜方照明を用いた露光処理においては、上記第1～第4の具体例に示したマスク1を用いる

ことにより、ホールパターンの解像度を向上させることができる上、ラインパターンとホールパターンとの露光処理に際して同一形状の照明を使用することができるので、ラインパターンとホールパターンとの重ね合わせ精度を向上させることが可能となる。

【0165】次に、上記マスク1のパターン設計における図形データ処理についてを説明する。なお、マスク1のパターン設計用の図形データの処理に関しては、多数の図形の相似拡大ないしは縮小を一括して処理可能な単位を層と呼ぶ。換言すれば、異なる拡大率ないしは縮小率の処理が必要な場合は、別の層に図形を登録する必要がある。

【0166】まず、ホールパターン露光用のマスク1の図形データ処理方法を、上記具体例4(図44)のマスク1の図形データ処理方法を一例として説明する。

【0167】ここで説明する図形データ処理方法は、ユニットセルを作成し、これをマスクの全面に自動的に貼り付ける操作を繰り返すことにより、マスク全体の図形データを作成する方法である。このユニットセルは、例えば孤立した実パターン、逆相ハーフトーンパターン、同相ハーフトーンパターンおよびハーフトーンパターン配置禁止域等のような図形データを有するものである。この方法の場合は、実パターンのサイズまたは形状が異なる場合は、複数の孤立したユニットセルを作成すれば良い。

【0168】上記具体例4の場合のユニットセルを図52に示す。ユニットセルUCは、全体図形としては図44に示したマスクのパターン平面図と同一であるが、データとしてはA層～C層に分かれており、その各層にそれぞれ実パターンデータ2HD、同相ハーフトーン配置禁止域データ4ADおよび同相ハーフトーン包含パターンデータ3BDが記憶されている。A層～C層をそれぞれ図53(a)～(c)に示す。図53(a)に示すA層には、実パターンに対応する実パターンデータ2HDが記憶されている。同図(b)に示すB層には、同相ハーフトーン配置禁止域データ4ADが記憶されている。ここには、例えば平面八角形の図形データが記憶されている。同図(c)に示すC層には、同相ハーフトーン領域を包含する同相ハーフトーン包含パターンデータ3BDが記憶されている。ここには、例えば平面八角形の図形データが記憶されている。いずれの場合も図形データの記憶は座標入力によって行われている。また、A層、B層およびC層の中心座標は互いに等しくそれら層間の重ね合わせ配置が可能となっている。

【0169】孤立したホールパターンを配置するには、まず、A層内において実パターンデータ2HDを所望の位置に配置した後、これに付随させてB層の同相ハーフトーン領域配置禁止域データ4ADおよびC層の同相ハーフトーンパターンデータ3BDを配置する。なお、同相ハーフトーン領域のパターンデータは、同相ハーフト

ーン包含パターンデータ3BDから同相ハーフトーン配置禁止域データ4ADを引き算することで得られる。

【0170】また、図54には、所定の間隔を隔てて配置された複数のホールパターンを形成する場合のマスク1の要部拡大平面図を示している。図54の右側には孤立したホールパターン転写用の実パターン2Hが配置されている。図54の左側には、ホールパターン転写用の複数の実パターン2Hが比較的近接して並んで配置されており、その各々の近傍の遮光領域4Aが互いに繋がっている。なお、この近接配置された実パターン2Hのうちの一番右側に配置されている実パターン2Hは、その一群における他の実パターン2Hよりも隣接間隔が若干離れており、その近傍の遮光領域4Aは、その隣りの遮光領域4Aから離れている。また、このような構造のマスクを上記第1の具体例の構造で表現する場合には、遮光領域4Aに代えて逆相ハーフトーン領域3Aが配置されるようになる。

【0171】このようなマスク1の実パターンデータ、同相ハーフトーン配置禁止域データおよび同相ハーフトーン包含パターンデータを図55～図57に示す。A層の実パターンデータ2HDは、ホールパターンの配置に対応して所定の間隔を隔てて複数配置されている。B層の同相ハーフトーン配置禁止域データ4ADは、ホールパターンの近接領域では互いに繋がって配置されている。C層の同相ハーフトーン包含パターンデータ3BDもホールパターンの近接領域では互いに繋がって配置されている。なお、この場合もA層、B層およびC層の中心座標は互いに等しくそれら層間の重ね合わせ配置が可能となっている。

【0172】この場合のデータ作成に際しても、B層ならびにC層内の図形の配置においては、図形の重なりは気にせず、いわゆる論理的なOR処理と同様の処理を行い、図形データを作成している。すなわち、C層からB層を引き算処理すれば、図58に示すような同相ハーフトーン領域データ3BD1の図形が得られる。そして、これら図形データを用いて、実パターン形成用レジスト、同相ハーフトーン領域形成用レジストおよび遮光領域形成用レジストをパターンニングし、マスク1を製造すれば良い。このようにユニットセルを用いた図形データ作成処理によれば、遮蔽領域4Aや同相ハーフトーン領域3Bが実パターン2Hと相似形でない場合であっても、人的な判断を必要とせずに図形間の加減算のみの処理で図形の配置が可能なので、マスク作製用の図形データ処理を簡単に自動化できる。

【0173】なお、これら自動処理の結果、マスク製作プロセスでは許容できない程微細な同相ハーフトーン領域が生成される可能性がある。この箇所は自動的に検出可能であり、消去可能である。同相ハーフトーン領域が消去されることによる露光性能の劣化が懸念されるが、消去する場合は、近接して実パターンが配置されてい

10

20

30

40

50

る、すなわち、繰り返しパターンに近づいているためであり、輪帯照明を用いて露光するので、性能劣化は小さい。また、C層はB層をコピーした後拡大処理しても作成可能である。その方法とユニットセルを用いる方法との両者の組み合わせを用いれば、片方の方法のみを用いた場合よりも簡単にマスク製作用の図形データ処理が行える。なお、具体例1～3の場合のマスク1の図形データ処理方法も上記の方法と同じであり、その場合も図形データ処理に関し同様の効果が得られる。

【0174】次に、ラインパターン露光用のマスク1の図形データ処理方法を、上記具体例5(図47)のマスク1の図形データ処理方法を一例として説明する。

【0175】ここで説明する図形データ処理方法は、実パターン図形を拡大または縮小処理することにより、逆相または同相ハーフトーン領域の図形データを自動的に生成する方法である。

【0176】まず、図59に示すように、通常マスクを作成する場合と同様に実パターンデータ2MDの図形データを作成し、これをA層とする。続いて、A層をコピーした層をB層とし、B層を実パターン近傍の遮光領域幅分だけ拡大(いわゆるブローデン処理)し、図60に示すように、同相ハーフトーン配置禁止域データ4ADを作成し、これをB層とする。その後、B層をコピーした後、それを同相ハーフトーン領域幅分だけ拡大し、図61に示すように、同相ハーフトーン包含パターンデータ3BDを作成し、これをC層とする。続いて、C層からB層を引き算すれば、図62に示すように、同相ハーフトーン領域データ3BD1の図形だけが残し、これをD層とする。なお、この場合もA層、B層、C層およびD層の中心座標は互いに等しくそれら層間の重ね合わせ配置が可能となっている。このように、この図形データ処理方法では、通常マスク製作用の図形データの作成の場合と全く同様に、実パターンの図形を作成しさえすれば、後は自動図形データ処理によりパターンデータを生成可能である。

【0177】これら自動処理の結果、マスク製作プロセスでは許容できない程微細な同相ハーフトーン領域が生成される可能性がある。この箇所は自動的に検出可能であり、しかも、同相ハーフトーン領域の図形データを一定量相似縮小した後、同一量を拡大すればこの箇所は消去可能である。同相ハーフトーン領域が消去されることによる露光性能劣化が懸念されるが、消去する場合は、近接して実パターンがある、すなわち、繰り返しパターンに近づいているためであり、輪帯照明を用いて露光するので、性能劣化は小さい。これら図形データを用いて、実パターン用のレジストパターンを、同相ハーフトーン領域用のレジストパターンに重ねて、図44に示したマスクを製造する。なお、第6および第7の具体例のマスク1の図形データ処理方法も上記の方法と同じであり、その場合も図形データ処理に関し同様の効果が得ら

れる。

【0178】以上のようなホールパターンおよびラインパターンの図形データ処理のように、本発明の逆相および同相ハーフトーン領域のマスク製作用図形データ処理は、通常マスク用の図形データと同様に実パターンの配置を行えば、残りの部分は自動処理可能である。従って、第1から第8の具体例で示したマスク1の製造は容易である。

【0179】以下には、本発明者が検討した技術の問題点である別分類照明を用いて露光したパターンを重ね合せた場合の重ね合せ精度の劣化、すなわち、本発明では前提として扱ってきた同一分類照明でホールパターンとラインパターンとの双方を露光すればパターン重ね合せ精度劣化は防止可能であることに関して、上記したマスク1の具体例を用いて検証する。現実には、別分類に属する照明を用いた場合には、投影光学系の収差量が変換することが知られているが、ここではこれを無視し、現実には起こりえないことと考えるが、投影光学系の収差量は照明系に依存しない、との仮定のもとに説明する。

【0180】ここでは、標準的なピッチで配置されたラインパターンを下地として、これにホールパターンを重ね合せ、しかも、投影光学系にコマ収差がある場合について述べる。また、パターン重ね合せの基準となる下地ラインパターンは、広く適用されていると考えられるマスクにおいて実パターンが遮光領域から成る通常マスクを、輪帯照明で露光して形成する場合について述べる。

【0181】この場合に、ラインパターンに重ね合せるホールパターンの形成には、逆相ハーフトーンマスクを小 $\sigma$ 照明で露光する場合と、第4の具体例で示した実パターンの周辺は遮光領域、その外側は同相ハーフトーン領域、さらに外側は遮光領域としたマスク1(図44参照)を用い、輪帯照明で露光する場合との間で、比較した。重ね合せズレのコマ収差依存性を図63に示した。

【0182】図63(a)は、ラインパターンおよびホールパターンの双方ともが孤立している場合である。同図(b)は、標準的なピッチで配置された場合である。同図(c)は、ラインパターンは標準的なピッチで配置され、ホールパターンは穴径を変えずに2倍のピッチで配置した場合である。大きな収差の場合でも、本発明の実施の形態では位置ズレ量は小さい。

【0183】また、図63には、照明系を切り換えても投影光学系の収差量が一定と仮定しても、本発明の実施の形態を用いてパターンを重ね合せた方が、重ね合せズレ量は小さいことを示したが、この図自体が本発明の主眼ではない。図63に示した効果に加え、同一分類照明で主要なライン/ホールの双方のパターンを露光することにより照明条件を限定でき、詳細な調整を必要とする露光装置組立・立上げ時の投影光学系の収差調整が大幅に軽減され、同一分類照明に合せ込むことが可能となり収差自体も大幅に低減できることを勧告しておく必要

がある。

【0184】次に、本実施の形態で用いる露光装置の一例を説明する。図64に示すように、本実施の形態で使用される縮小投影露光装置7は、半導体ウエハ8を吸着して保持する吸着台7aを有し、この露光処理にあたってはステップアンドリピート方式により露光操作がなされる。吸着台7aは、水平方向に移動するX軸移動台7bと、これに対して直角となった水平方向に吸着台7aを移動するY軸移動台7cとの上に設けられ、かつ、Z軸移動台7dによって上下方向に移動自在となっている。露光光源7eは、例えば水銀ランプになっており、集光ミラー7fに組み付けられている。露光光源7eは、図65または図66に示すように、斜方照明光源形状となっている。図65は輪体照明7e1を示している。図66は四開口照明7e2を示している。なお、露光光源は、KrFまたはArF等のエキシマレーザに置き換えても良い。

【0185】図64に示す縮小投影露光装置7において、露光光源から放射された光は平面反射ミラー7g1、シャッター7h、フライアイレンズ7i、アパーチャ7j、バンドパスフィルタ7kを介して平面反射ミラー7g2に照射される構造となっている。フライアイレンズ7iを透過した光は、アパーチャ7jによってパーシャルコヒーレント係数( $\sigma$ 値)が調整され、バンドパスフィルタ7kによって露光光以外の照明光がカットされる。平面反射ミラー7g2に照射された露光光は、さらに、マスクブラインド7m、コンデンサレンズ7nを介して上記マスク1に照射される構造になっている。マスク1は、マスクホルダ7pに保持されている。このマスクホルダ7pは図64の上下方向に微動可能になっている。マスク1の平面領域のうち、半導体ウエハ8に転写される範囲はマスクブラインド7mによってマスク1を透過した露光光は、縮小投影レンズ7qを介して半導体ウエハ上のフォトリジスト膜に照射されるようになっている。

【0186】なお、露光装置は上述のようなステップアンドリピート方式の露光装置に限定されるものではなく種々変更可能であり、例えばステップアンドスキャン方式の露光装置を用いても良い。

【0187】ステップアンドスキャン方式は、半導体ウエハとマスクとを相対的に逆方向に移動させながらパターンを転写するものである。すなわち、例えば図67に示すように、縮小投影露光装置9の露光光10は、スリット9aによって成形された後、マスク1に照射されるようになっている。露光光10および露光光源は上記と同じなので説明を省略する。マスク1はマスクステージ9bに保持されている。マスク1を透過した露光光は、縮小投影レンズ9cを介して半導体ウエハ8の主面のフォトリジスト膜に照射されるようになっている。この縮小投影露光装置9では、マスク1と、半導体ウエハ8と

が相対的に逆方向に移動しながら半導体ウエハの半導体チップ11内にパターンを転写するようになっている。

【0188】この方式の特徴は、スリット状に成形された照明光を用いることであり、スキャン方式でない縮小投影露光装置では、図68(a)に示すように、レンズの投影領域12に内接する正方形に近い矩形13のような露光領域を用いるのに対して、スキャン露光では、同図(b)に示すように、スリット状の矩形14が露光領域となる。

【0189】次に、本実施の形態のマスクを実際の半導体集積回路装置に適用した場合のマスクの具体例を図69～図71によって説明する。

【0190】図69はDRAM (Dynamic Random Access Memory) の素子分離用パターンを形成するためのマスクに本発明を適用した場合のマスク1の要部拡大平面図である。この図69はメモリセルアレイの端部のみを示している。このマスク1は、上記第8の具体例を適用したマスクである。

【0191】マスク1に配置された複数の実パターン2Lは、メモリセルの活性領域(メモリセル選択MISFETのソース、ドレインおよびチャネルが形成される領域)に対応するパターンであり、ここでは遮蔽領域で形成されている。実パターン2Lは、その片側の長辺の中央に凸部が形成されており、その凸部の平面位置が、図69の上下に隣接する実パターン2L同士において互いにずれるように配置されている。

【0192】実パターン2Lの周囲には所定の幅を有する光透過領域6Aが実パターン2Lに接して取り囲むように配置され、その外側には一定幅の透過率の高い同相ハーフトーン領域3Bが配置され、さらに、その外側には光透過領域6Bが配置されている。これにより、斜方照明を用いた露光処理より焦点深度の向上が図られ微細パターンの解像度が向上する。このマスク1の場合は、実パターン2Lのサイズよりも若干小さな同相ハーフトーン領域3Bをマスクに形成する必要が生じるが、これを上記マスク作成用の図形データ処理段階で消去しない場合で示してある。

【0193】また、図70はDRAMのゲートパターンおよびゲート間配線パターンを形成するためのマスクに本発明を適用した場合のマスク1の要部拡大平面図である。このマスク1も上記第8の具体例を適用したマスクである。実パターン2Mは、ゲートパターンおよびゲート間配線パターンに対応しており、遮光領域で形成されている。実パターン2Mの大半の部分が繰り返しパターンを構成しているが、その一部が孤立ライン部および繰り返し端部となっている。それ以外の構成は図69の場合と同じなので説明を省略する。

【0194】この場合も斜方照明による露光処理により焦点深度の向上が図られ微細ラインパターンの解像度が向上する。この場合、マスク1に一定幅より微細な同相



ハーフトーン領域3Bは、マスク製作用の図形データ処理段階で消去し、消去後のパターン配置平面図を示している。

【0195】なお、これら図69および図70のマスク1を用いた露光処理に際しては、半導体ウエハ上に被着されたポジ型のフォトリソ膜にパターンを転写する。また、ここでは、第8の具体例のマスク構造を適用したが、これに限定されず、上記第5、第6、第7の具体例のマスク構造を適用しても良いし、ラインパターンを転写するためのマスクであって、遮光領域と透過領域とで構成される通常のマスクを用いても良い。

【0196】さらに、図71はDRAMのキャパシタとメモリセル選択MIS・FETの半導体領域とを接続するためのホールパターンを形成するためのマスクに本発明を適用した場合のマスク1の要部拡大平面図である。このマスク1は上記第4の具体例を適用したマスクである。マスク1には複数の実パターン2Hが所定の間隔を隔てて配置されている。この実パターン2Hは、上記ホールパターンに対応しており、光透過領域で形成されている。各実パターン2Hの周囲には遮光領域4Aが配置されている。遮光領域4Aは隣接するもの同士で繋がっている。この遮光領域4Aの周囲には、同相ハーフトーン領域3Bが配置され、さらにその外側には遮光領域4が配置されている。この場合も斜方照明による露光処理により焦点深度の向上が図られ微細ホールパターンの解像度が向上する。

【0197】なお、この図71のマスク1を用いた露光処理に際しては、半導体ウエハ上に被着されたポジ型のフォトリソ膜にパターンを転写する。また、ここでは、第4の具体例のマスク構造を適用したが、これに限定されず、上記第1、第2、第3の具体例のマスク構造を適用しても良い。

【0198】次に、上記のようなマスク1を用いたDRAMの製造方法の一例を図72～図79を用いて工程順に説明する。

【0199】まず、図72に示すように、p型で比抵抗が10Ωcm程度の半導体ウエハ8を850℃程度でウェット酸化してその表面に膜厚10nm程度の薄い酸化シリコン膜15を形成した後、この酸化シリコン膜15上にCVD (Chemical Vapor Deposition) 法で窒化シリコン膜16を堆積する。続いて、その窒化シリコン膜16上にポジ型のフォトリソ膜17aを被着した後、これに上記斜方照明 (例えば輪帯照明) を用いた露光処理によって活性領域を覆うようなパターンを転写する。この露光処理に際しては、上記図69のマスク1を用いる。その後、そのパターンニングされたフォトリソ膜17aをエッチングマスクとして、そこから露出する窒化シリコン膜16をエッチング除去することにより、図73に示すような窒化シリコン膜16のパターンを形成する。

【0200】次いで、その窒化シリコン膜16を両酸化性マスクとして半導体ウエハ8に対して熱酸化処理を施すことにより、図74に示すように、半導体ウエハ8の素子分離領域にフィールド絶縁膜18を形成する。続いて、熱リン酸を用いたウェットエッチングで窒化シリコン膜およびその下層の酸化シリコン膜を除去した後、メモリセルを形成する領域 (メモリアレイ) の半導体ウエハ8にn型不純物、例えばP (リン) をイオン打ち込みしてn型半導体領域19を形成し、メモリアレイと周辺回路の一部 (nチャネル型MISFETを形成する領域) にp型不純物、例えばB (ホウ素) をイオン打ち込みしてp型ウエル20を形成し、周辺回路の他の一部 (pチャネル型MISFETを形成する領域) にn型不純物、例えばPをイオン打ち込みしてn型ウエルを形成する。その後、このイオン打ち込みに続いて、MISFETのしきい値電圧を調整するための不純物、例えばBF<sub>2</sub> (フッ化ホウ素) をp型ウエル20およびn型ウエルにイオン打ち込みする。なお、n型半導体領域19は、入出力回路などから半導体ウエハ8を通じてメモリアレイのp型ウエル20にノイズが侵入するのを防止するために形成される。

【0201】次に、p型ウエル20およびn型ウエルの各表面の酸化シリコン膜をHF (フッ酸) 系の洗浄液を使って除去した後、半導体ウエハ8を850℃程度でウェット酸化してp型ウエル20およびn型ウエルの各表面に膜厚7nm程度の清浄なゲート酸化膜21を形成する。

【0202】特に限定はされないが、上記ゲート酸化膜13を形成した後、半導体基板1をNO (酸化窒素) あるいはN<sub>2</sub>O (亜酸化窒素) 雰囲気中で熱処理することによって、ゲート酸化膜21と半導体ウエハ8との界面に窒素を偏析させてもよい (酸窒化処理)。ゲート酸化膜21が7nm程度まで薄くなると、半導体ウエハ8との熱膨張係数差に起因して両者の界面に生じる歪みが顕在化し、ホットキャリアの発生を誘発する。半導体ウエハ8との界面に偏析した窒素はこの歪みを緩和するので、上記の酸窒化処理は、極薄ゲート酸化膜21の信頼性を向上できる。

【0203】次に、ゲート酸化膜21上にゲート電極形成用の導体膜22 (22a, 22b) およびキャップ絶縁膜23を被着する。この導体膜22aは、例えば低抵抗ポリシリコンからなり、導体膜22bは、例えばタングステンシサイド等のようなシリサイド膜からなる。また、キャップ絶縁膜23は、例えば窒化シリコン膜からなる。続いて、そのキャップ絶縁膜23上にネガ型のフォトリソ膜17bを被着する。

【0204】続いて、このフォトリソ膜17bに、上記斜方照明 (例えば輪帯照明) を用いた露光処理によってゲートパターンおよびゲート間パターンを覆うようなパターンを転写する。この露光処理に際しては、上記



図70のマスク1を用いる。その後、そのパターニングされたフォトレジスト膜17bをエッチングマスクとして、そこから露出するキャップ絶縁膜23、導体膜22をエッチング除去することにより、図76に示すようなゲート電極22Gのパターンを形成する。このゲート電極22Gは、メモリセル選択用MISFETの一部を構成し、活性領域以外の領域ではワード線WLとして機能する。このゲート電極22G（ワード線WL）の幅、すなわちゲート長は、メモリセル選択用MISFETの短チャネル効果を抑制して、しきい値電圧を一定値以上に確保できる許容範囲内の最小寸法（例えば $0.24\mu\text{m}$ ）で構成される。また、隣接する2本のゲート電極22G（ワード線WL）の間隔は、フォトリソグラフィの解像限界で決まる最小寸法（例えば $0.22\mu\text{m}$ ）で構成される。なお、ゲート電極22Gは、例えば低抵抗ポリシリコン上に窒化タングステンや窒化チタン等のバリア金属膜を介してタングステン等の金属膜を設けて成る、いわゆるポリメタル構造としても良い。ゲート電極22G（ワード線WL）の一部を低抵抗の金属（W）で構成した場合には、そのシート抵抗を $2\sim 2.5\Omega/\square$ 程度にまで低減できるので、ワード線遅延を低減することができる。また、ゲート電極14（ワード線WL）をA1配線などで裏打ちしなくともワード線遅延を低減できるので、メモリセルの上部に形成される配線層の数を1層減らすことができる。

【0205】次に、フォトレジスト膜17b（図75参照）を除去した後、p型ウエル20にn型不純物、例えばP（リン）をイオン打ち込みしてゲート電極22Gの両側のp型ウエル20にn<sup>-</sup>型半導体領域24を形成することにより、メモリアレイにメモリセル選択用MISFETQsが形成される。

【0206】続いて、半導体ウエハ8上にCVD法で膜厚50nm程度の窒化シリコン膜を堆積した後、これを異方性のドライエッチング処理によってエッチバックすることにより、図77に示すように、ゲート電極22Gおよびワード線WLの側面に窒化シリコン膜からなるサイドウォール25を形成する。

【0207】その後、半導体ウエハ8の主面上に、例えば酸化シリコン膜からなる絶縁膜26をCVD法によって被着した後、その上にネガ型のフォトレジスト膜17cを被着する。

【0208】次いで、このフォトレジスト膜17cに、上記斜方照明（例えば輪帯照明）を用いた露光処理によってキャパシタ用の接続孔が露出されるようなパターンを転写する。この露光処理に際しては、上記図71のマスク1を用いる。続いて、そのパターニングされたフォトレジスト膜17cをエッチングマスクとして、そこから露出するキャップ絶縁膜26をエッチング除去することにより、図78に示すような接続孔（ホールパターン）27aを形成する。この際、酸化シリコン膜と窒化

シリコン膜とのエッチング選択比が高くなるようなエッチング条件でエッチング処理を施すことにより、ホールパターン27を自己整合的に位置合わせ良く形成することができる。その後、図79に示すように、接続孔27a内に、例えば低抵抗ポリシリコン膜からなるプラグ28aを埋め込み、上記の接続孔27aと同様にして絶縁膜26に穿孔した接続孔27b内に、例えば低抵抗ポリシリコン膜からなるプラグ28bを埋め込む。

【0209】次いで、絶縁膜26上に、窒化シリコン膜からなる絶縁膜29を被着した後、その絶縁膜29に接続孔27cを穿孔し、さらに、ビット線形成用の導体膜を被着した後、これをパターニングすることでビット線BLを形成する。ビット線BLは、例えばタングステン等からなり、プラグ28bを通じてメモリセル選択MISFETQsの半導体領域24と電気的に接続されている。続いて、ビット線BLを覆うように、例えば酸化シリコン膜からなる絶縁膜30を被着した後、これにプラグ28aの上面が露出するような接続孔27dを穿孔し、その内部にプラグ28cを形成する。その後、絶縁膜30上に窒化シリコン等からなる絶縁膜31を形成した後、DRAMの情報蓄積用のキャパシタ32を形成する。キャパシタ32は、下部電極32aと、その表面に被着された容量絶縁膜32bと、その上に形成されたプレート電極32cとで構成されている。下部電極32aは、例えば低抵抗ポリシリコンからなり、プラグ28c、28aを通じてメモリセル選択MISFETの半導体領域24と電気的に接続されている。

【0210】このような本実施の形態においては、例えば以下の効果が得られる。

【0211】(1). 孤立パターンまたは繰り返しパターンのうちの孤立パターン部や繰り返し端部（繰り返しパターン等価部）を斜方照明により転写する際に、焦点深度を向上させることができる。すなわち、当該パターンの解像度を向上させることができる。

【0212】(2). 上記(1)により、孤立パターンを転写するための露光処理と、繰り返しパターンを転写するための露光処理に際して、同一分類に属する露光光学系を用いることができる。このため、異なる分類に属する露光光学系を用いることに起因するパターン重ね合せ精度劣化を回避できる。また、微細パターン形成工程を露光する照明を同一分類とすることにより、露光装置製造・立上げ時の投影光学系の収差調整を大幅に軽減することができる。さらに、同一分類照明に合せ込むことができるので、収差自体も大幅に低減できる。

【0213】(3). 露光に際して不要光強度の強い小 $\sigma$ 照明を用いず、その影響が小さい斜方照明を用いて孤立パターンまたは孤立パターン等価部を転写するので、不要パターンの転写を回避でき、不要パターンの転写による不良の発生を防止できる。

【0214】(4). 上記(1)、(2)、(3)により、集積回

路パターンの微細化を推進でき、半導体集積回路装置の小型・高機能化を推進できる。また、半導体集積回路装置の性能を向上させることができる。さらに、半導体集積回路装置の歩留まりを向上させることが可能となる。

【0215】以上、本発明者によってなされた発明を実施の形態に基づき具体的に説明したが、本発明は前記実施の形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で種々変更可能であることはいうまでもない。

【0216】例えば前記実施の形態においては、露光光源としてKrFエキシマレーザを用いた場合について説明したが、これに限定されるものではなく、例えばKrFエキシマレーザ（波長248nm）、水銀ランプのg線（波長436nm）、ArFエキシマレーザ（波長193nm）またはこれらよりも短波長の露光光源を用いても良い。

【0217】また、前記実施の形態においては、半導体ウエハが、シリコン単結晶の単体で構成されている場合について説明したが、これに限定されるものではなく種々変更可能であり、例えば絶縁層上に薄い半導体層を設けて成る、いわゆるSOI（Silicon On Insulator）構造の半導体ウエハ、チョクラルスキー結晶成長法等で製造された半導体基板の表面に薄いエピタキシャル層を設けて成る、いわゆるエピタキシャルウエハの場合にも本発明を適用できる。

【0218】以上の説明では主として本発明者によってなされた発明をその背景となった利用分野であるDRAMの製造技術に適用した場合について説明したが、それに限定されるものではなく、例えばSRAMやフラッシュメモリ（EEPROM）等のような他のメモリ回路またはマイクロプロセッサ等のような論理回路あるいはC

CD（Charge Coupled Device）やTFT（Thin Film Transistor）液晶表示素子のパターン形成技術等に適用できる。

【0219】【発明の効果】本願によって開示される発明のうち、代表的なものによって得られる効果を簡単に説明すれば、以下の通りである。

【0220】(1). 本発明によれば、孤立パターンまたは孤立パターン等価部を斜方照明により転写する際に、焦点深度を向上させることができる。すなわち、当該パターンの解像度を向上させることができる。

【0221】(2). 本発明によれば、孤立パターンを転写するための露光処理と、繰り返しパターンを転写するための露光処理に際して、同一分類に属する露光光学系を用いることができる。このため、異なる分類に属する照明光学系（アパーチャ）を用いることに起因するパターン重ね合せ精度劣化を回避できる。また、微細パターン形成工程を露光する照明を同一分類とすることにより、露光装置組立・立上げ時の投影光学系の収差調整を大幅に軽減することができる。さらに、同一分類照明に合せ

込むことができるので、収差自体も大幅に低減できる。

【0222】(3). 本発明によれば、露光に際して不要光強度の強い小 $\sigma$ 照明を用いず、その影響が小さい非小 $\sigma$ 照明を用いて孤立パターンまたは孤立パターン等価部を転写するので、不要なパターンの転写を回避でき、不要パターンの転写による不良の発生を防止できる。

【0223】(4). 上記(1)、(2)、(3)により、集積回路パターンの微細化を推進でき、半導体集積回路装置の小型・高機能化を推進できる。また、半導体集積回路装置の性能を向上させることができる。さらに、半導体集積回路装置の歩留まりを向上させることが可能となる。

【0224】(5). 本発明によれば、微細な補助パターンを設けず、擬似的な繰り返し領域を設け、その擬似的な繰り返し領域をハーフトーン領域で構成することにより、寸法精度を緩和でき、比較的幅広に形成しても問題が生じないので、マスクの製造上の容易性を向上させることが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】(a)は通常の照明を用いた露光技術の場合を示し、(b)は本発明の一実施の形態である露光技術である斜法照明の原理を示す説明図である。

【図2】(a)、(b)は本実施の形態で用いた穴径算出方法を説明するためのグラフ図である。

【図3】逆相ハーフトーン領域の効果領域の評価に用いたマスクの要部平面図である。

【図4】逆相ハーフトーン領域の効果領域の評価結果を示すグラフ図である。

【図5】マスクの穴径縮小効果を比較するグラフ図である。

【図6】(a)、(b)は不要光強度比を比較するためのグラフ図である。

【図7】(a)、(b)は斜法照明を用いた露光処理に際してハーフトーンマスクを用いた場合の不要光強度比を比較するためのグラフ図である。

【図8】本実施の形態のマスクの要部拡大平面図である。

【図9】図8のマスクを用いた場合の焦点深度向上効果を説明するためのグラフ図である。

【図10】図8のマスクの製造工程中における要部拡大断面図である。

【図11】図8のマスクの図10に続く製造工程における要部拡大断面図である。

【図12】図8のマスクの図11に続く製造工程における要部拡大断面図である。

【図13】図8のマスクの図12に続く製造工程における要部拡大断面図である。

【図14】図8のマスクの図13に続く製造工程における要部拡大断面図である。

【図15】図8のマスクの図14に続く製造工程における要部拡大断面図である。

【図16】図8のマスクの図15に続く製造工程における要部拡大断面図である。

【図17】図8のマスクの図16に続く製造工程における要部拡大断面図である。

【図18】図8のマスクの他の製造工程における要部拡大断面図である。

【図19】図8のマスクの図18に続く他の製造工程における要部拡大断面図である。

【図20】図8のマスクの図19に続く他の製造工程における要部拡大断面図である。

【図21】図8のマスクの図20に続く他の製造工程における要部拡大断面図である。

【図22】図8のマスクの図21に続く他の製造工程における要部拡大断面図である。

【図23】図8のマスクの図22に続く他の製造工程における要部拡大断面図である。

【図24】図8のマスクの図23に続く他の製造工程における要部拡大断面図である。

【図25】図8のマスクのさらに他の製造工程における要部拡大断面図である。

【図26】図8のマスクの図25に続くさらに他の製造工程における要部拡大断面図である。

【図27】図8のマスクの図26に続くさらに他の製造工程における要部拡大断面図である。

【図28】図8のマスクの図27に続くさらに他の製造工程における要部拡大断面図である。

【図29】図8のマスクの図28に続くさらに他の製造工程における要部拡大断面図である。

【図30】図8のマスクの図29に続くさらに他の製造工程における要部拡大断面図である。

【図31】図8のマスクの図30に続くさらに他の製造工程における要部拡大断面図である。

【図32】図8のマスクの31に続くさらに他の製造工程における要部拡大断面図である。

【図33】本実施の形態の他のマスクの要部拡大平面図である。

【図34】図33のマスクを用いた場合の焦点深度向上効果を示すグラフ図である。

【図35】図33のマスクを用いた場合の不要光強度を示すグラフ図である。

【図36】本発明の他の実施の形態であるマスクの要部拡大平面図である。

【図37】図36のマスクを用いた場合の焦点深度向上効果を示すグラフ図である。

【図38】図36のマスクを用いた場合の不要光強度を示すグラフ図である。

【図39】図36のマスクの製造工程における要部断面図である。

【図40】図36のマスクの図39に続く製造工程における要部断面図である。

【図41】図36のマスクの図40に続く製造工程における要部断面図である。

【図42】図36のマスクの図41に続く製造工程における要部断面図である。

【図43】図36のマスクの図42に続く製造工程における要部断面図である。

【図44】本発明の他の実施の形態であるマスクの要部拡大平面図である。

【図45】図44のマスクを用いた場合の焦点深度向上効果を示すグラフ図である。

【図46】(a)～(c)は図44のマスクを用いた場合の不要光強度を示すグラフ図である。

【図47】本発明の他の実施の形態であるマスクの要部拡大平面図である。

【図48】(a)～(c)は図44のマスクを用いた場合の焦点深度向上効果を示すグラフ図である。

【図49】本発明の他の実施の形態であるマスクの要部拡大平面図である。

【図50】(a)～(c)は図49のマスクを用いた場合の焦点深度向上効果を示すグラフ図である。

【図51】本発明の他の実施の形態であるマスクの要部拡大平面図である。

【図52】図44のマスクの図形データ作成に用いるユニットセルの説明図である。

【図53】(a)～(c)は図52のユニットセルを構成する各層の説明図である。

【図54】本発明の他の実施の形態であるマスクの要部拡大平面図である。

【図55】図54のマスクの図形データ作成に用いる層の説明図である。

【図56】図54のマスクの図形データ作成に用いる他の層の説明図である。

【図57】図54のマスクの図形データ作成に用いる他の層の説明図である。

【図58】図54のマスクの図形データ作成に用いるさらに他の層の説明図である。

【図59】図47のマスクの図形データの作成方法を説明するための層の説明図である。

【図60】図47のマスクの図形データの作成方法を説明するための他の層の説明図である。

【図61】図47のマスクの図形データの作成方法を説明するための他の層の説明図である。

【図62】図47のマスクの図形データの作成方法を説明するためのさらに他の層の説明図である。

【図63】(a)～(c)は本実施の形態であるパターン重ね合わせずれ防止効果の説明図である。

【図64】本実施の形態の露光処理に用いる露光装置の説明図である。

【図65】図64の露光装置における露光光源の説明図である。

【図66】図64の露光装置における露光光源の説明図である。

【図67】本実施の形態の露光処理に用いる他の露光装置の説明図である。

【図68】(a)は本発明者が検討した露光装置の説明図であり、(b)は図67の露光装置の説明図である。

【図69】本発明の他の実施の形態であって素子分離領域の露光に用いるマスクの要部拡大平面図である。

【図70】本発明の他の実施の形態であってゲートパターンの露光に用いるマスクの要部拡大平面図である。 10

【図71】本発明の他の実施の形態であってホールパターンの露光に用いるマスクの要部拡大平面図である。

【図72】本発明の実施の形態である露光処理を具体的に適用した場合の半導体集積回路装置の製造工程における要部断面図である。

【図73】本発明の実施の形態である露光処理を具体的に適用した場合の半導体集積回路装置の図72に続く製造工程における要部断面図である。

【図74】本発明の実施の形態である露光処理を具体的に適用した場合の半導体集積回路装置の図73に続く製造工程における要部断面図である。 20

【図75】本発明の実施の形態である露光処理を具体的に適用した場合の半導体集積回路装置の図74に続く製造工程における要部断面図である。

【図76】本発明の実施の形態である露光処理を具体的に適用した場合の半導体集積回路装置の図75に続く製造工程における要部断面図である。

【図77】本発明の実施の形態である露光処理を具体的に適用した場合の半導体集積回路装置の図76に続く製造工程における要部断面図である。 30

【図78】本発明の実施の形態である露光処理を具体的に適用した場合の半導体集積回路装置の図77に続く製造工程における要部断面図である。

【図79】本発明の実施の形態である露光処理を具体的に適用した場合の半導体集積回路装置の図78に続く製造工程における要部断面図である。

#### 【符号の説明】

1 マスク (超解像マスク)  
2H 実パターン (第1の実透過領域)  
2HD 実パターンデータ 40  
2M 実パターン (第1の実透過領域、第1の実遮光領域)  
2MD 実パターンデータ  
2L 実パターン (第1の実遮光領域)  
3A 逆相ハーフトーン領域  
3B 同相ハーフトーン領域  
3BD1 同相ハーフトーン領域データ  
3BD 同相ハーフトーン包含パターンデータ  
4 遮光領域  
4A 遮光領域 50

4AD 同相ハーフトーン配置禁止域データ

5a フォトレジストパターン

6A, 6B 光透過領域

7 縮小投影露光装置

7a 吸着台

7b X軸移動台

7c Y軸移動台

7d Z軸移動台

7e 露光光源

7e1 輪体照明

7e2 四開口照明

7f 集光ミラー

7g1 平面反射ミラー

7g2 平面反射ミラー

7h シャッター

7i フライアイレンズ

7j アパーチャ

7k バンドパスフィルタ

7m マスクブラインド

7n コンデンサレンズ

7p マスクホルダ

7q 縮小投影レンズ

8 半導体ウエハ

9 縮小投影露光装置

9a スリット

9b マスクステージ

9c 縮小投影レンズ

10 露光光

11 半導体チップ

15 酸化シリコン膜

16 窒化シリコン膜

17a~17c フォトレジスト膜

18 フィールド絶縁膜

19 n型半導体領域

20 p型ウエハ

21 ゲート酸化膜

22 ゲート電極形成用の導体膜

22a, 22b 導体膜

23 キャップ絶縁膜

24 n<sup>-</sup>型半導体領域

25 サイドウォール

26 絶縁膜

27a~27d 接続孔

28a~28c プラグ

29 絶縁膜

30 絶縁膜

31 絶縁膜

32 キャパシタ

32a 下部電極

50 32b 容量絶縁膜

32c プレート電極  
UC ユニットセル  
50 マスク

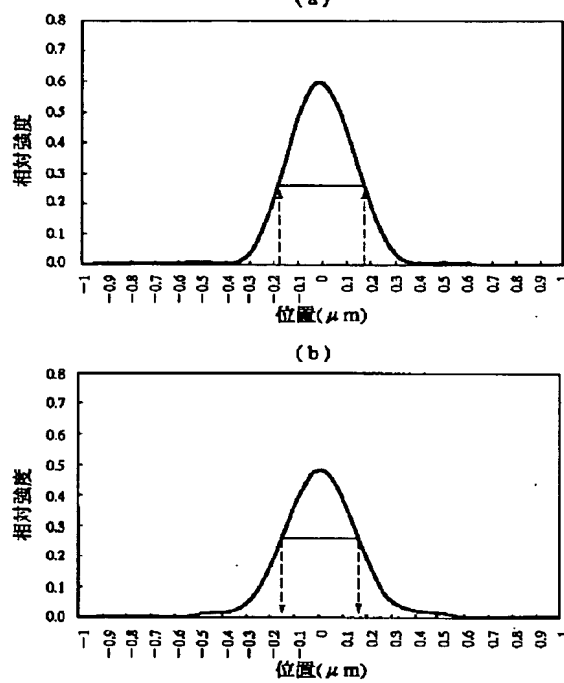
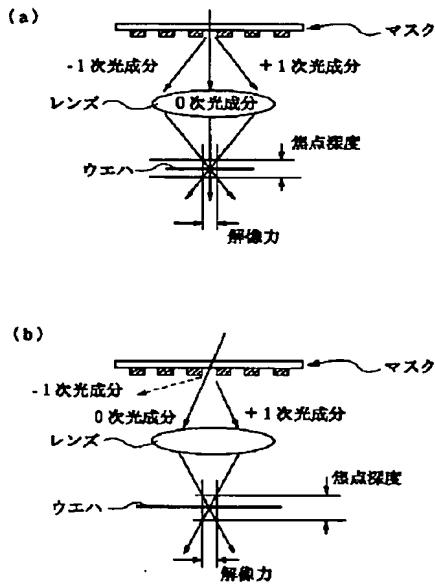
51 実パターン  
52 逆相ハーフトーン領域  
53 遮光領域

【図1】

【図2】

図 1

図 2



【図3】

【図4】

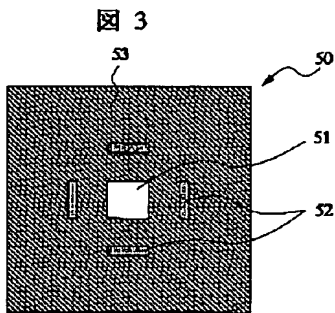
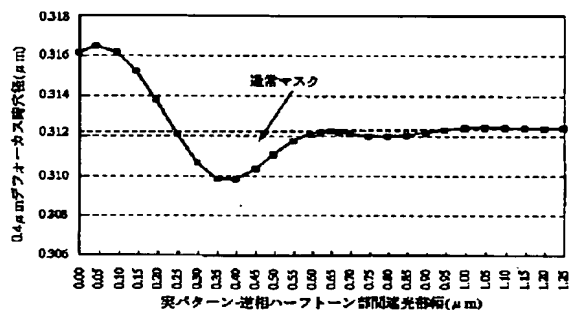


図 4

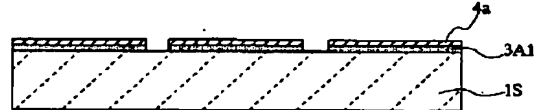
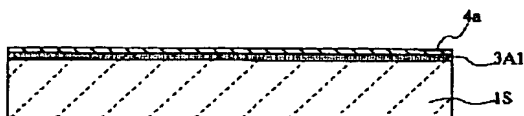


【図10】

【図12】

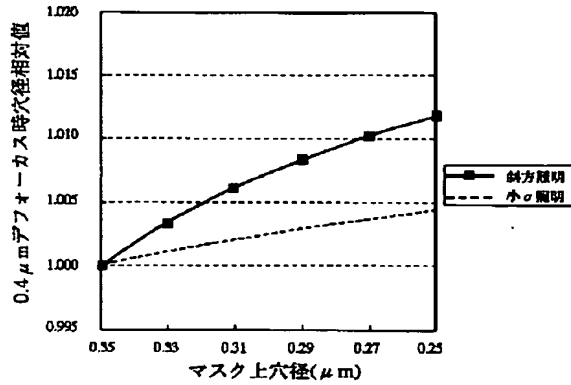
図 10

図 12



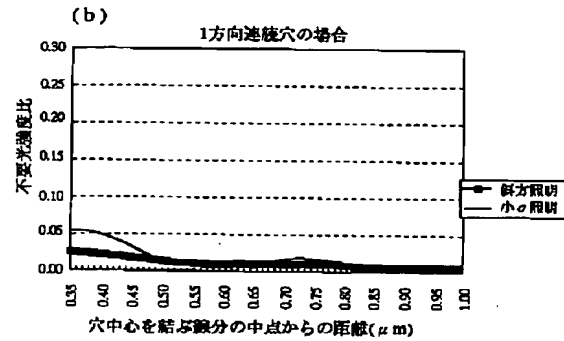
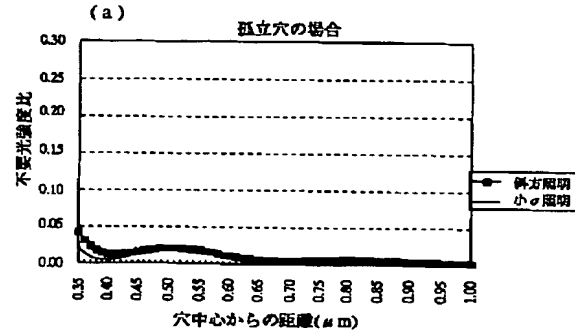
【図5】

図 5



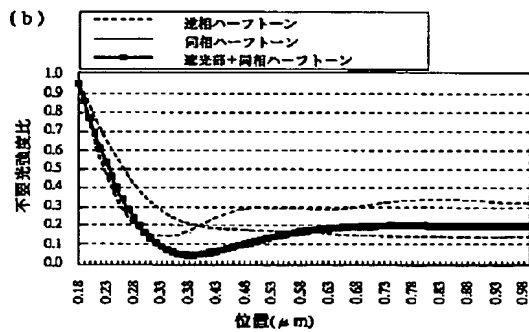
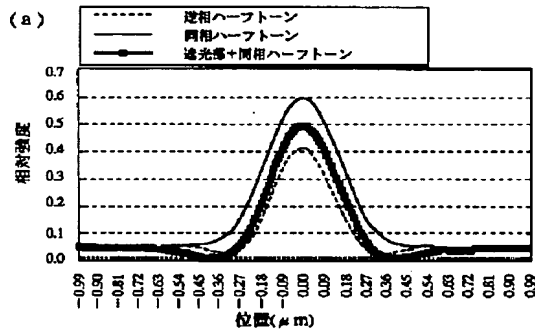
【図6】

図 6



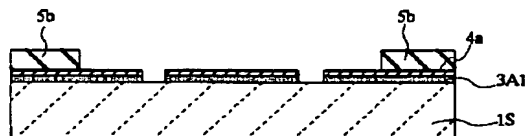
【図7】

図 7



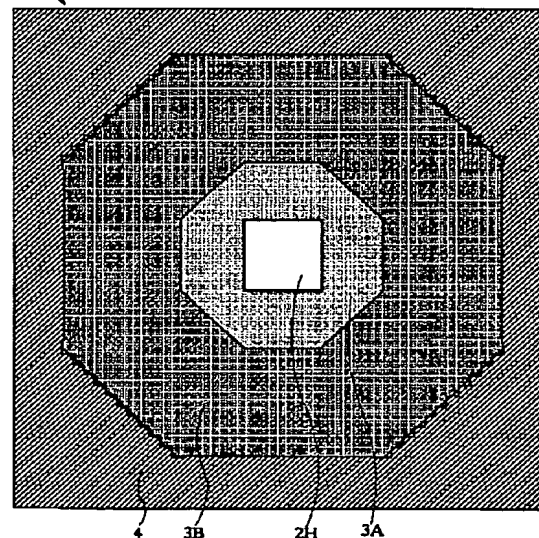
【図13】

図 13



【図8】

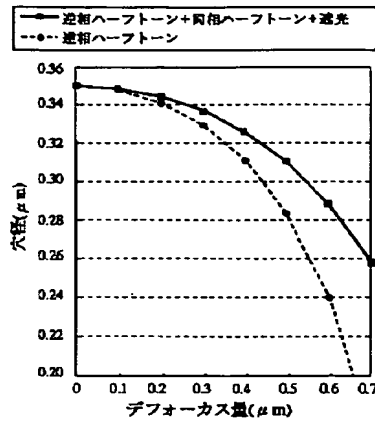
図 8



1: 光学マスク  
2H: 実パターン  
3A: 逆相ハーフトーン領域  
3B: 同相ハーフトーン領域  
4: 遮光領域

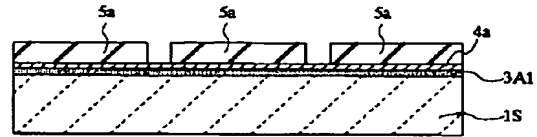
【図9】

図 9



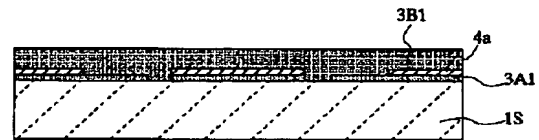
【図11】

図 11



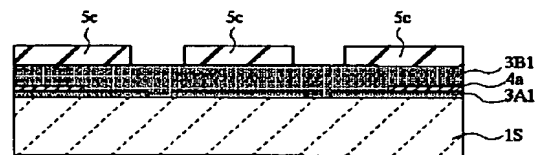
【図15】

図 15



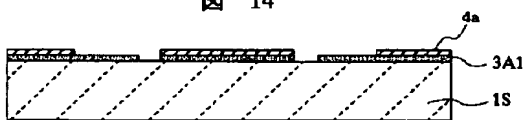
【図16】

図 16



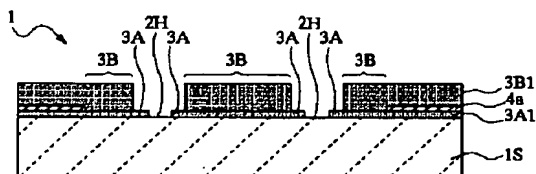
【図14】

図 14



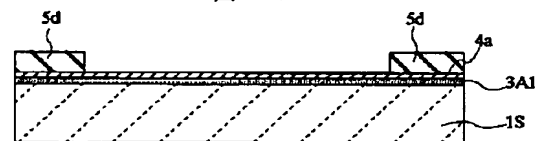
【図17】

図 17



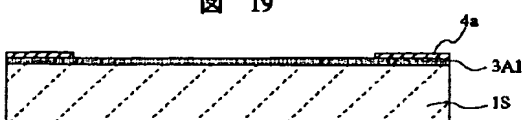
【図18】

図 18



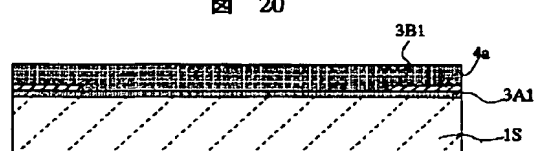
【図19】

図 19



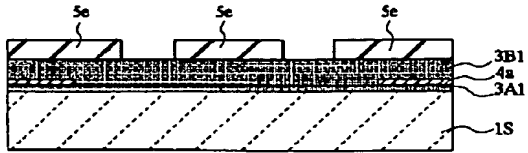
【図20】

図 20



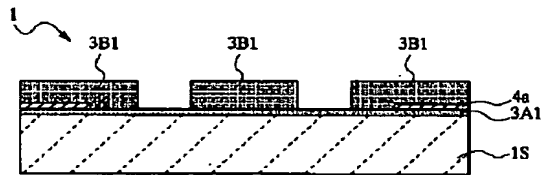
【図 21】

図 21



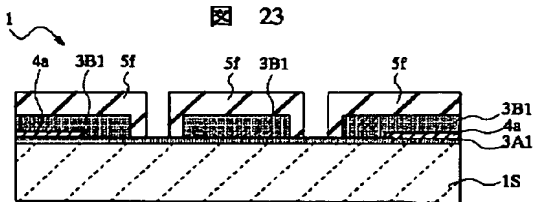
【図 22】

図 22



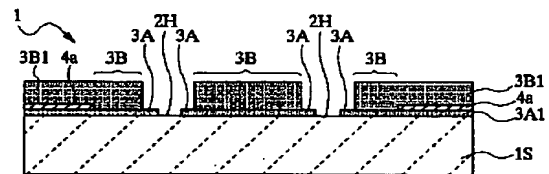
【図 23】

図 23



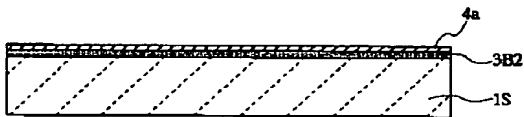
【図 24】

図 24



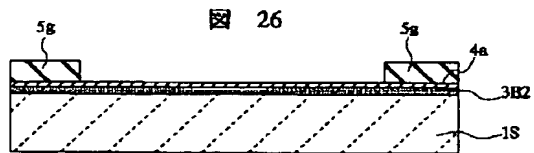
【図 25】

図 25



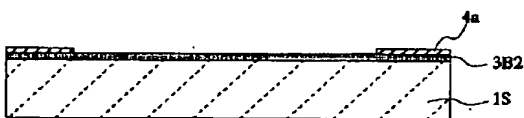
【図 26】

図 26



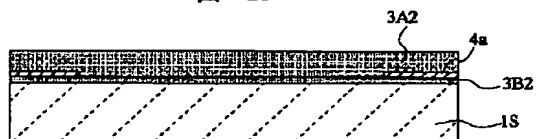
【図 27】

図 27



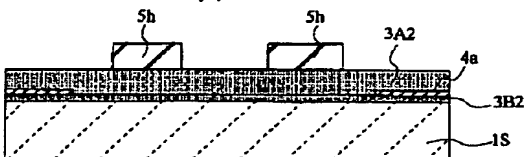
【図 28】

図 28



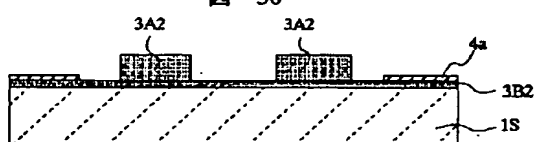
【図 29】

図 29



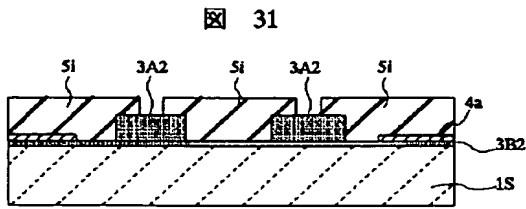
【図 30】

図 30

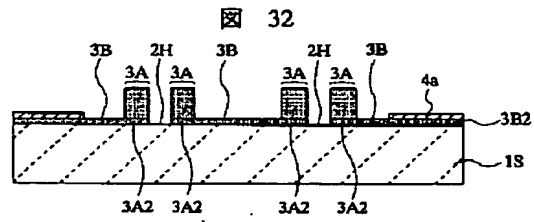




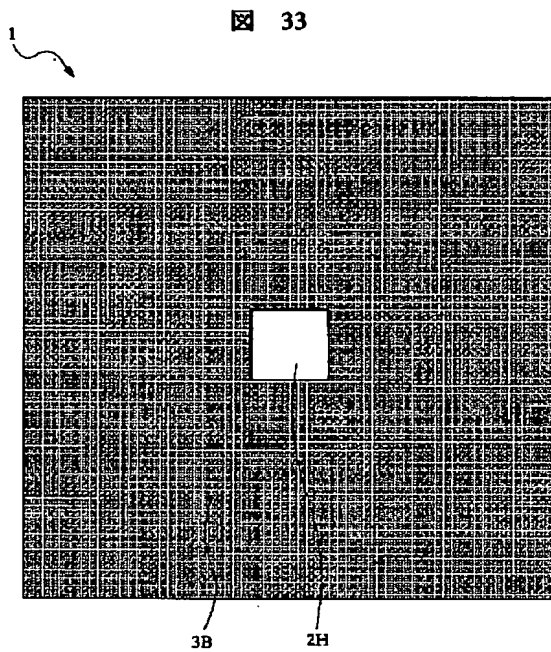
【図31】



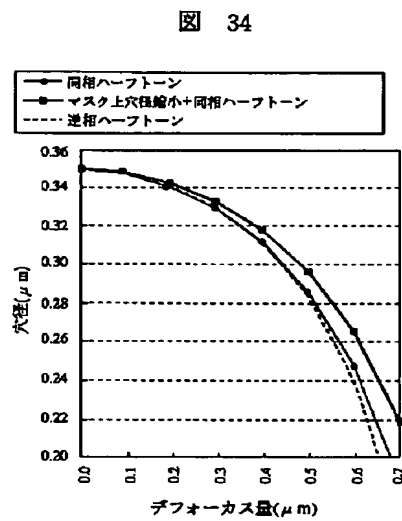
【図32】



【図33】



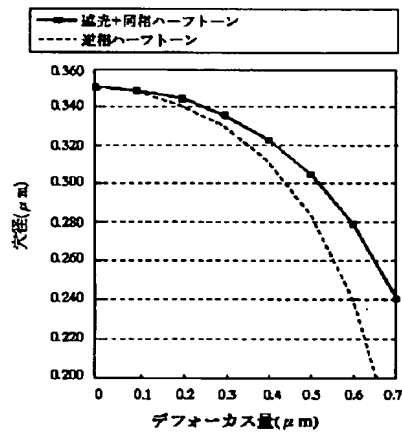
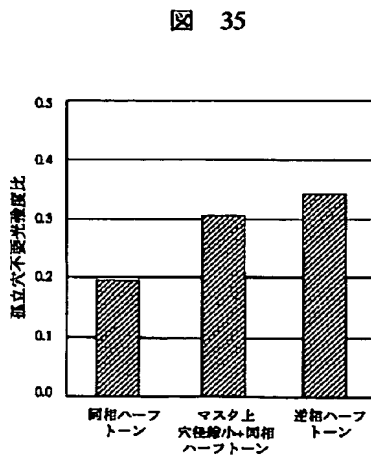
【図34】



【図37】

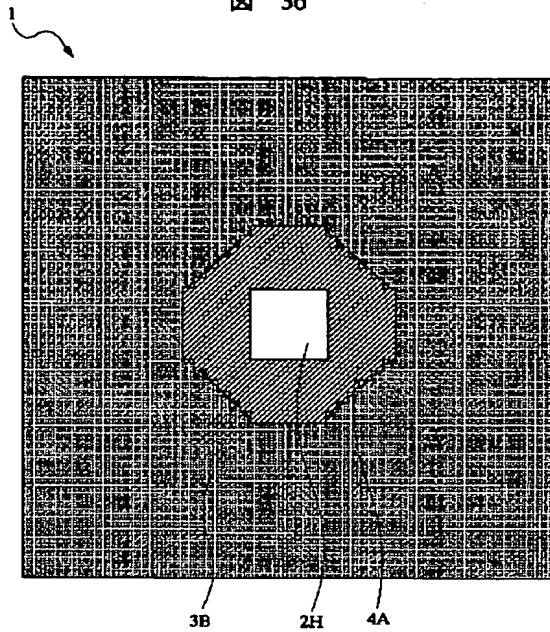
図 37

【図35】



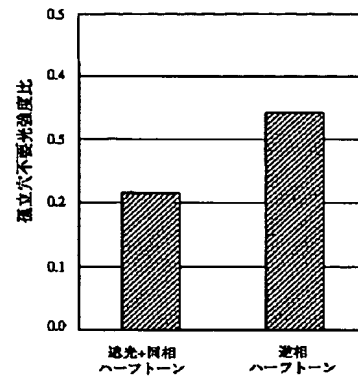
【図36】

図 36



【図38】

図 38



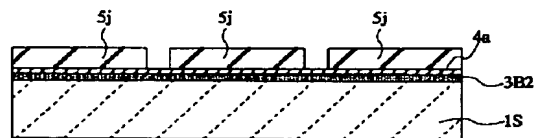
【図39】

図 39



【図40】

図 40



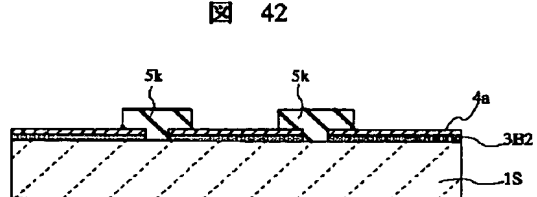
【図41】

図 41



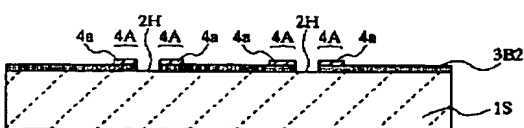
【図42】

図 42



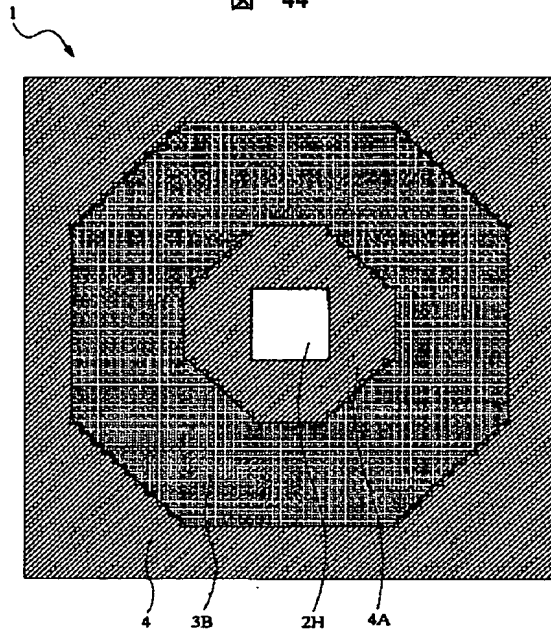
【図43】

図 43



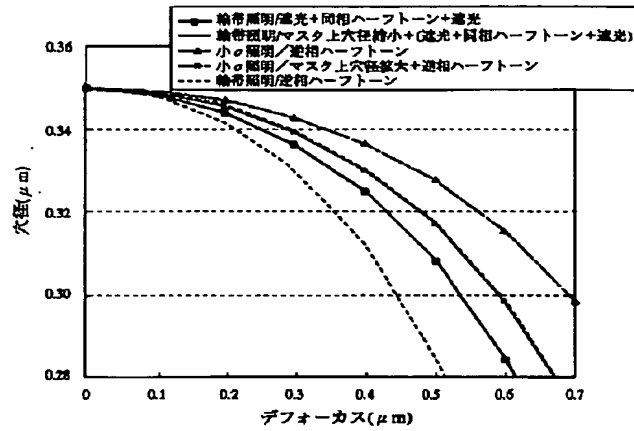
【図44】

図 44



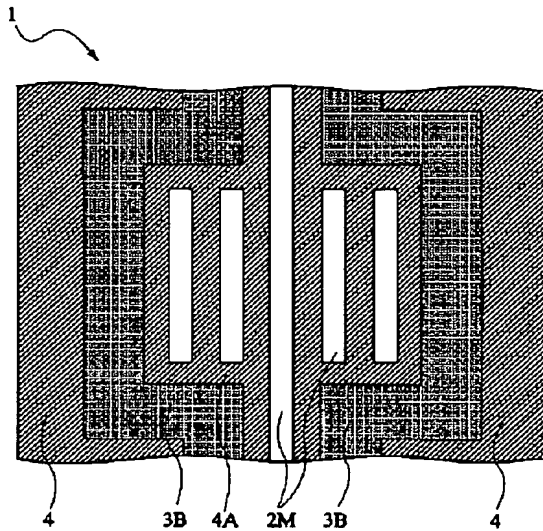
【図45】

図 45



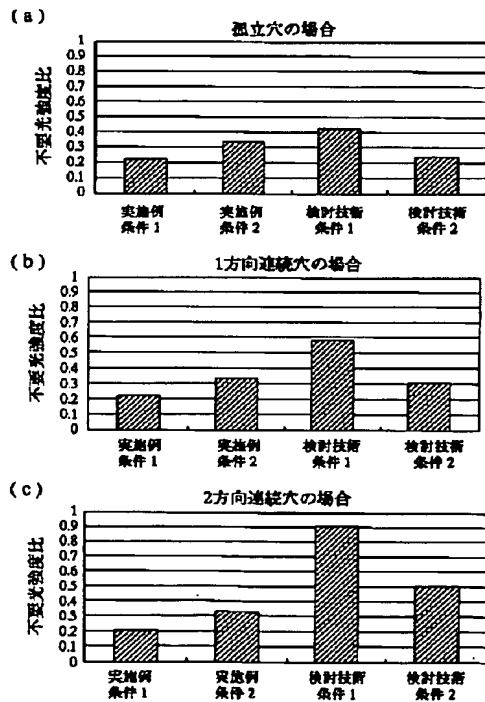
【図47】

図 47



【図46】

図 46

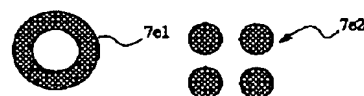


【図65】

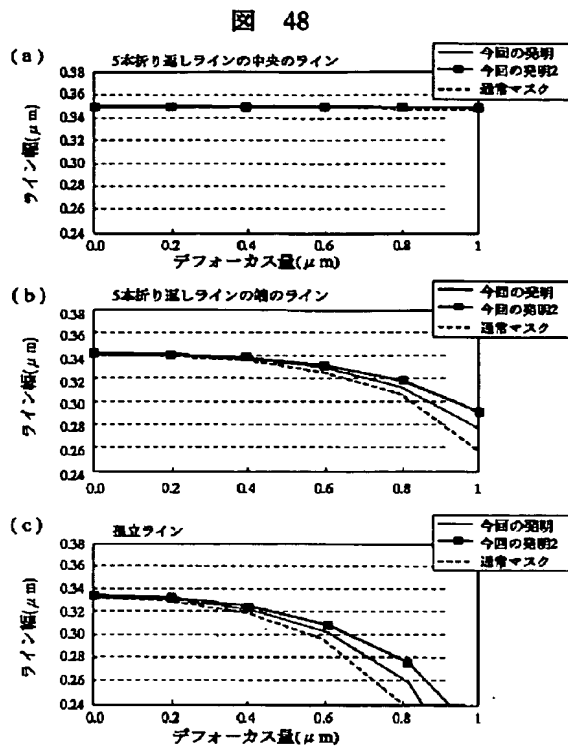
【図66】

図 65

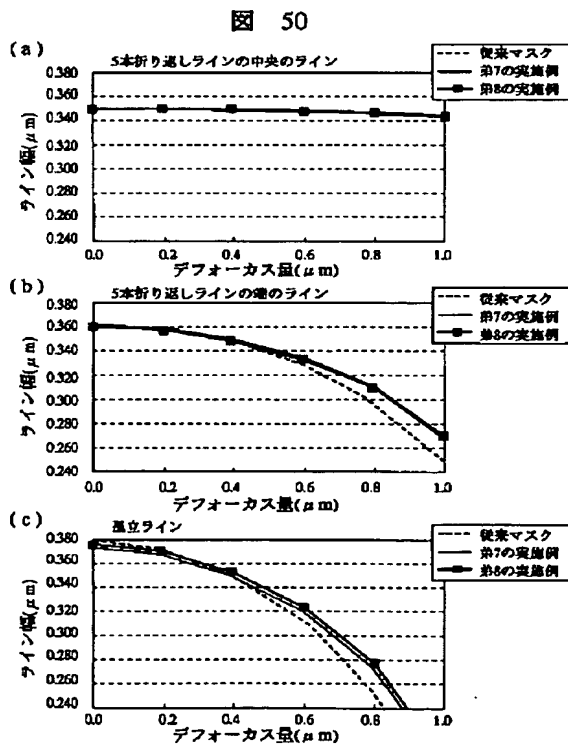
図 66



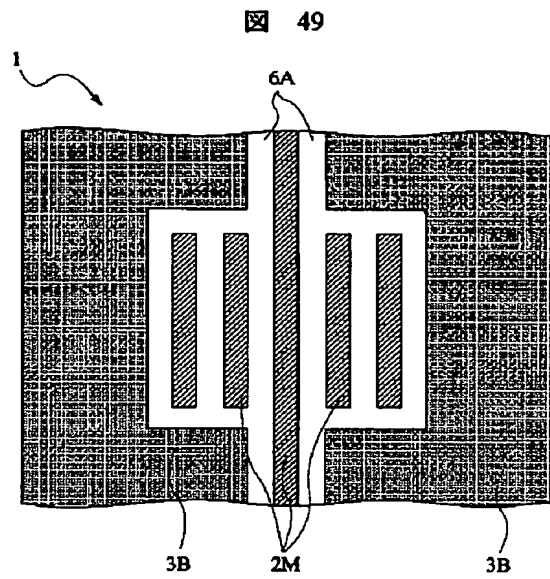
【図48】



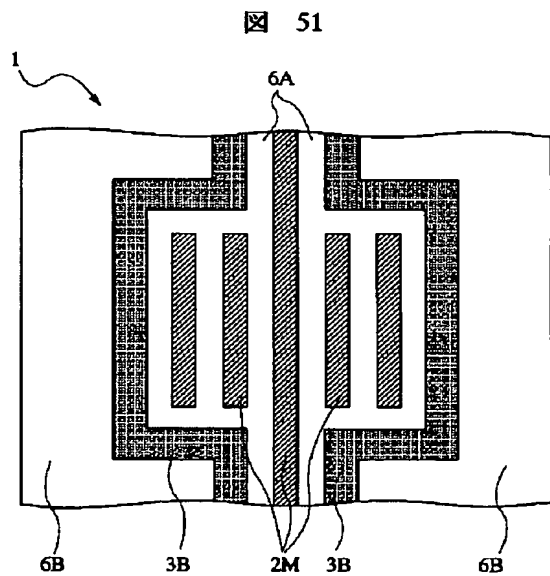
【図50】



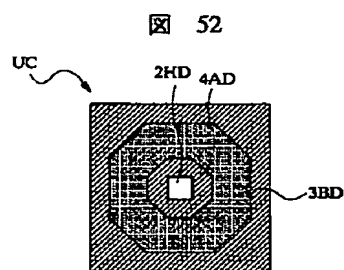
【図49】



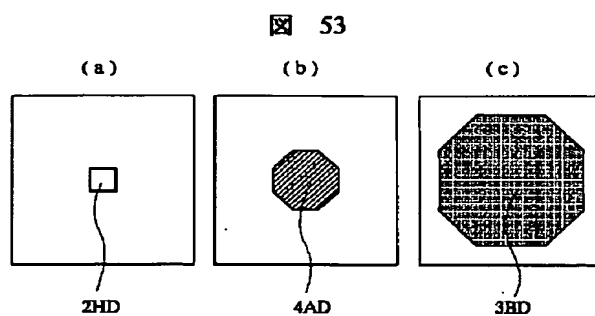
【図51】



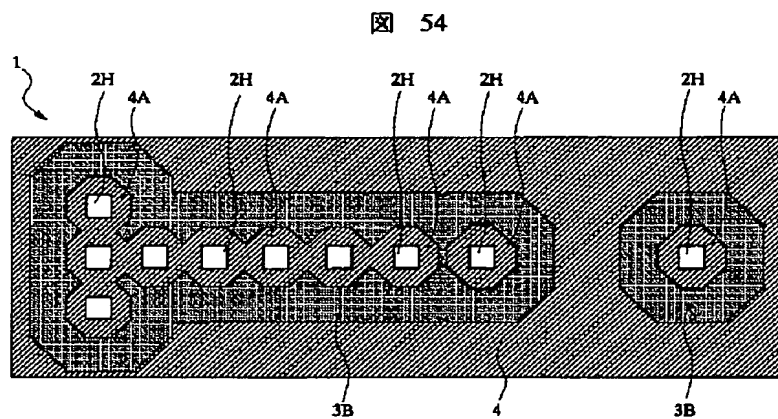
【図52】



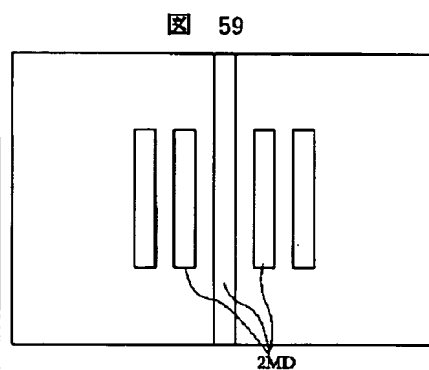
【図53】



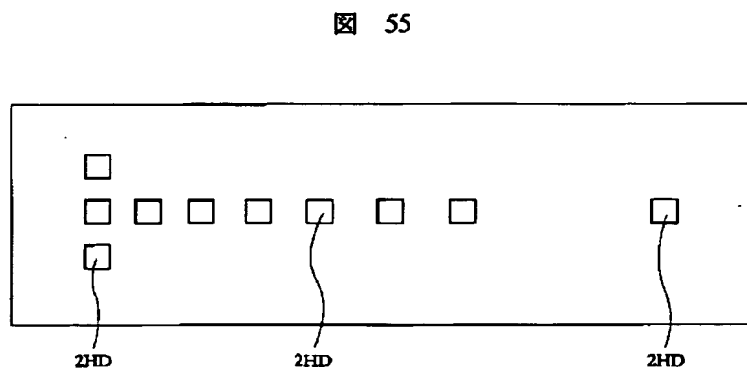
【図54】



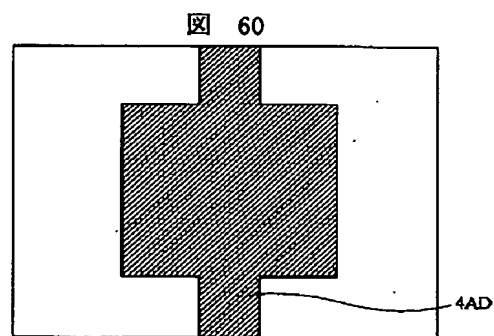
【図59】



【図55】

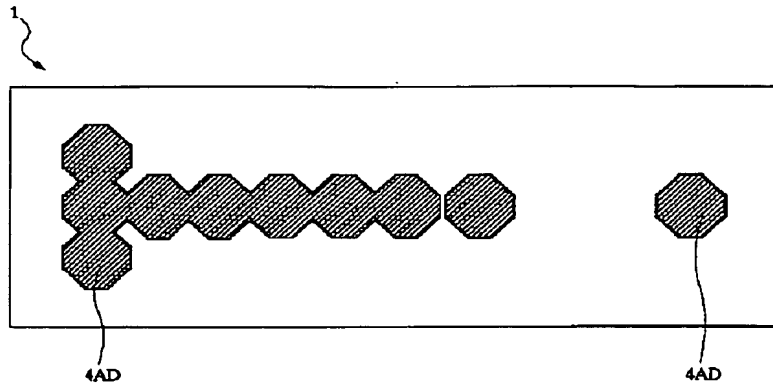


【図60】



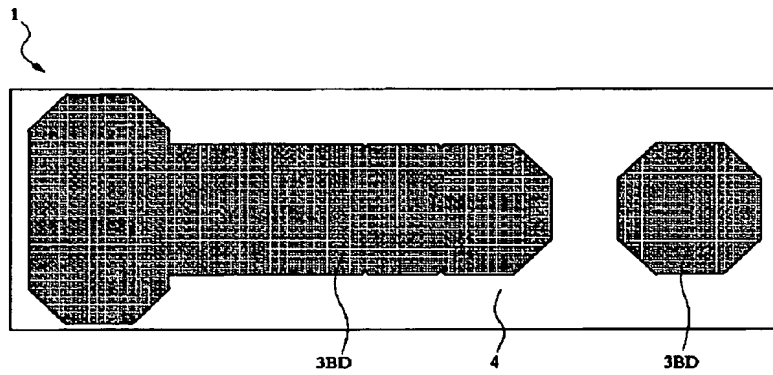
【図56】

図 56



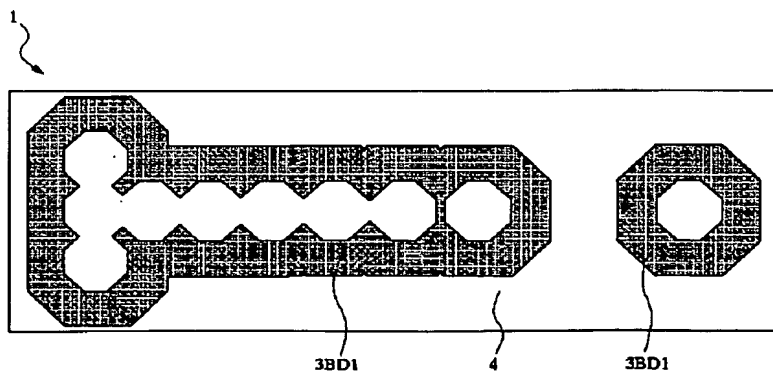
【図57】

図 57



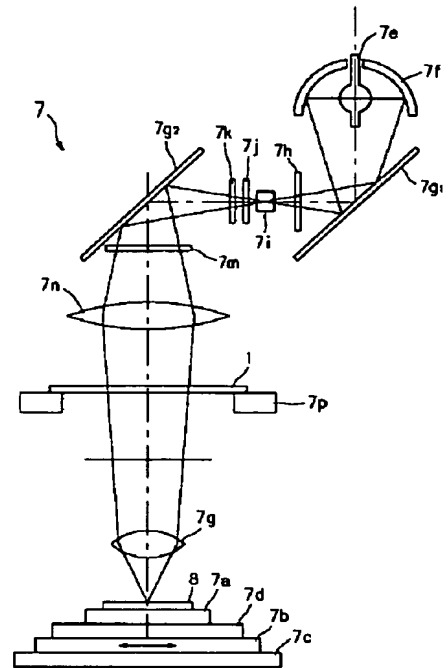
【図58】

図 58



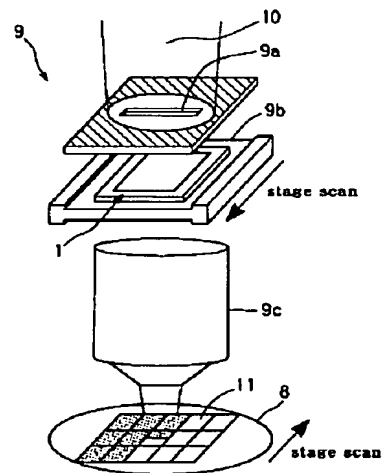
【図64】

図 64



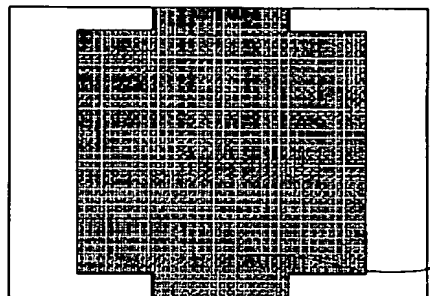
【図67】

図 67



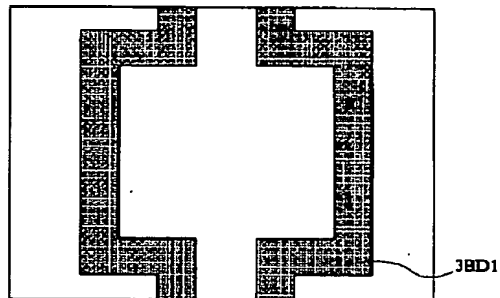
【図61】

図 61



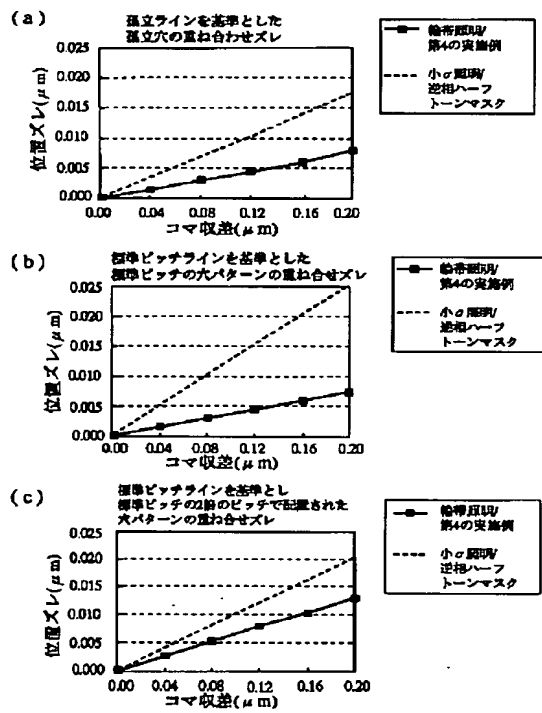
【図62】

図 62



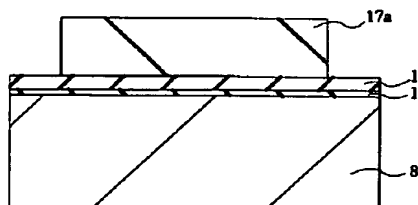
【図63】

図 63



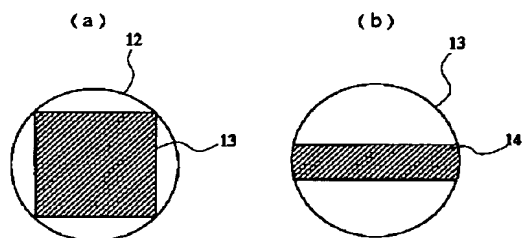
【図72】

図 72



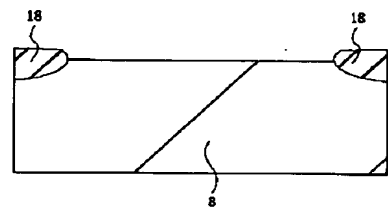
【図68】

図 68



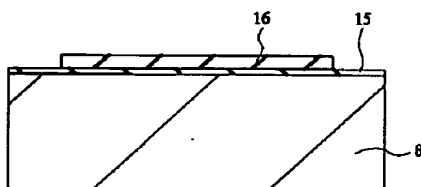
【図74】

図 74



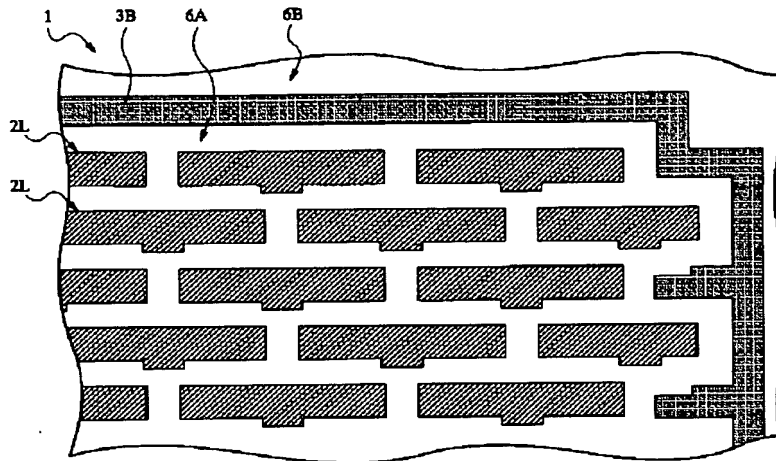
【図73】

図 73



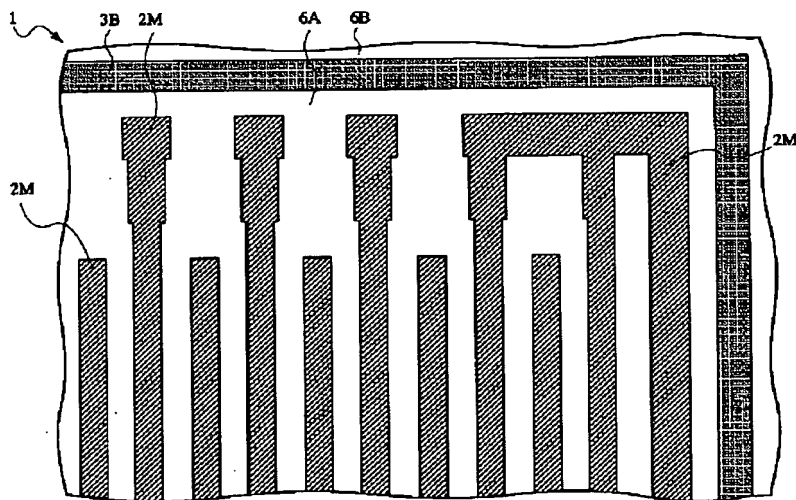
【図69】

図 69



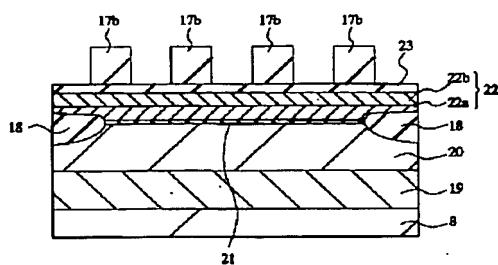
【図70】

図 70



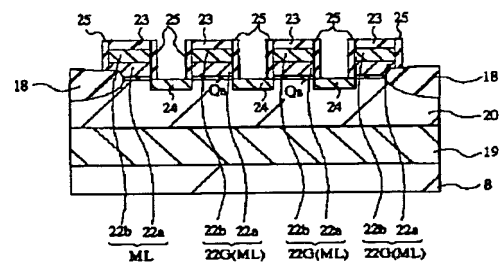
【図75】

図 75



【図76】

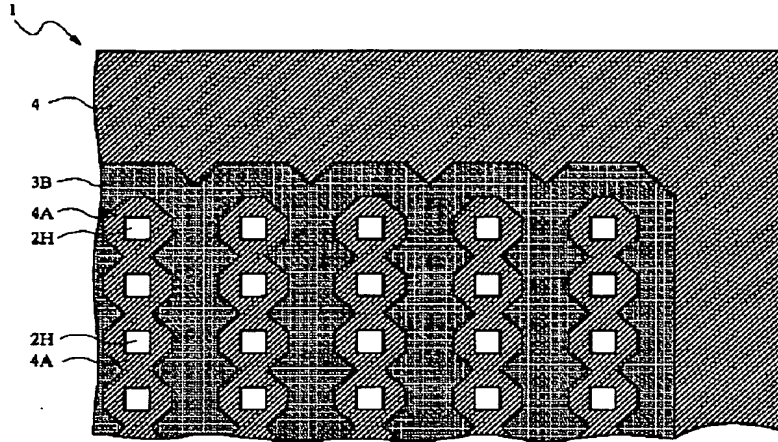
図 76





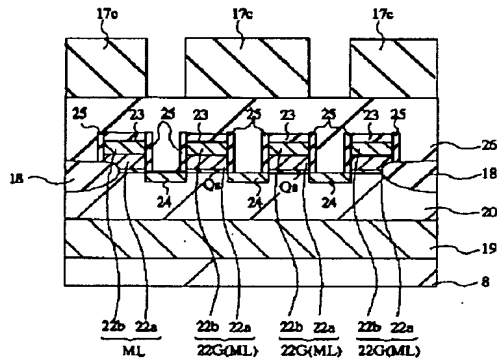
【図 71】

図 71



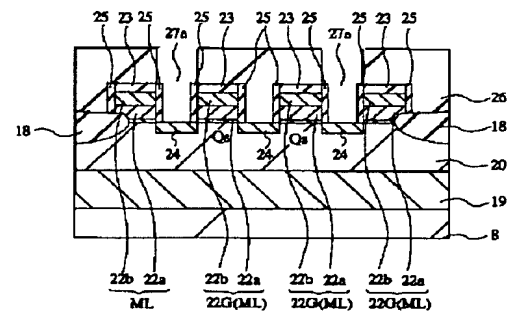
【図 77】

図 77



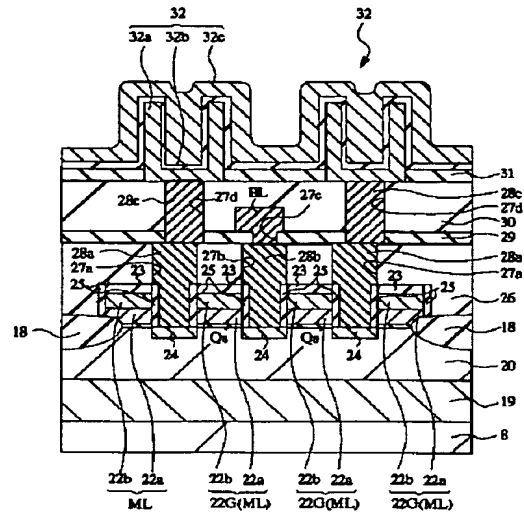
【図 78】

図 78



【図79】

図 79



フロントページの続き

(72)発明者 山口 修平  
東京都青梅市藤橋3丁目3番地2 日立東  
京エレクトロニクス株式会社内  
(72)発明者 堀田 尚二  
東京都青梅市新町六丁目16番地の3 株式  
会社日立製作所デバイス開発センタ内  
(72)発明者 白井 精一郎  
東京都青梅市新町六丁目16番地の3 株式  
会社日立製作所デバイス開発センタ内

(72)発明者 横山 悟一  
東京都青梅市新町六丁目16番地の3 株式  
会社日立製作所デバイス開発センタ内  
(72)発明者 常野 克己  
東京都青梅市新町六丁目16番地の3 株式  
会社日立製作所デバイス開発センタ内  
Fターム(参考) 2H095 BA02 BA07 BB02 BB03  
5F046 AA25 BA04 BA05 BA08 CB17

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**